ECOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE

Année 1970 N° 70

Contribution à l'étude du rôle des mammifères dans l'expérimentation spatiale

---

THÈSE

POUR LE

DOCTORAT VÉTÉRINAIRE

(Diplôme d'Etat)

Présentée et soutenue publiquement en Octobre 1970

DEVANT LA

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE TOULOUSE

PAR

GUICHON Georges, Guy, Léon

Né le 25 Avril 1942 à TUNIS (Tunisie)

JURY

Président : M. BESSOU, Professeur à la Faculté de Médecine de Toulouse.

Assesseurs : M. FLORIO, Directeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.

M. LESCURE, Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.

R I

IMPRIMERIE

4, place de la Daurade

31 - TOULOUSE

1970

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41536511_0058

Contribution à l'étude du rôle des mammifères dans l'expérimentation spatiale

ECOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE

Année 1970 N° 70

Contribution à l'étude du rôle des mammifères dans l'expérimentation spatiale

THÈSE

POUR LE

DOCTORAT VÉTÉRINAIRE

(Diplôme d'Etat)

Présentée et soutenue publiquement en Octobre 1970

DEVANT LA

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE TOULOUSE

PAR

GUICHON Georges, Guy, Léon

Né le 25 Avril 1942 à TUNIS (Tunisie)

JURY

Président : M. BESSOU, Professeur à la Faculté de Médecine de Toulouse.

Assesseurs :

M. FLORIO, Directeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.

M. LESCURE, Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.

R I

IMPRIMERIE

4, place de la Daurade

31 - TOULOUSE

1970

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE

Directeur : M. FLORIO.

Directeurs Honoraires : MM. PONS - DARRASPEN.

PERSONNEL ENSEIGNANT

Chaire de Pharmacie-Toxicologie :

— Professeur titulaire ..... **M. Godfrain**
— Maître-Assistant ..... **Mme Burgat-Sacaze**

Pharmacie - Toxicologie

Chaire de Physique-Chimie Biologiques et Médicales :

— Professeur titulaire ..... **M. Rico**
— Maître-Assistant ..... **M. Lorgue**

Physique - Chimie Biologiques et Médicales

Chaire d'Anatomie des animaux domestiques :

— Professeur titulaire ..... **M. Pavaux**

Anatomie descriptive appliquée - Extérieur

Chaire de Physiologie - Thérapeutique :

— Professeur titulaire ..... **M. Ruckebusch**
— Maître-Assistant ..... **M. Fargeas**

Physiologie - Thérapeutique - Pharmacodynamie

Chaire d'Histologie - Anatomie Pathologique :

— Professeur Titulaire **M. Van Haverbeke**
— Maître de Conférences non Chef de Service ..... M. CABANIE

Histologie - Embryologie - Anatomie Pathologique

Chaire d'Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'origine animale :

— Professeur titulaire ..... **M. Labie**
— Maître-Assistant ..... **M. Eeckhoutte**

Inspections des viandes - Inspection du lait

Chaire de Parasitologie :

— Professeur titulaire ..... **M. Brizard**
— Maître-Assistant ..... **M. Dorchies**

Zoologie appliquée - Parasitologie externe
Parasitologie interne - Clinique

Chaire de Pathologie Médicale des Equidés et Carnivores :

— Professeur titulaire ..... **M. Florio**
— Maître de Conférences, non chef de service, Professeur sans chaire **M. Lescure**
— Maître-Assistant ..... **M. Guelfi**

Pathologie Médicale des Equidés et Carnivores
Législation Vétérinaire - Clinique

Chaire de Pathologie Médicale du Bétail et des animaux de basse-cour :

— Professeur titulaire ..... **M. Tournut**
— Maître de Conférences non Chef de Service ..... M. ESPINASSE

Pathologie Médicale du Bétail
et des Animaux de basse-cour
Clinique interne - externe

Chaire de Pathologie Chirurgicale :

— Professeur titulaire ..... **N.**
— Maître-Assistant ..... **M. Cazieux**

Technique Chirurgicale
Pathologie Chirurgicale clinique

Chaire de Pathologie de la Reproduction :

— Professeur titulaire ..... **M. Berthelon**
— Maître de Conférences, non Chef de Service, Professeur sans chaire **M. Royal**

Obstétrique - Pathologie de la Reproduction
Clinique interne - externe

Chaire de Pathologie des Maladies Contagieuses :

— Professeur titulaire ..... **M. Saurat**
— Maître-Assistant ..... **M. Chantal**

Maladies contagieuses - Zoonoses
Législation sanitaire

Chaire de Pathologie Générale :

— Professeur titulaire ..... **M. Lautié**

Pathologie Générale - Microbiologie - Immunologie

Chaire de Zootechnie et d'Economie Rurale :

— Professeur titulaire ..... **M. Queinnec**
— Maître-Assistant ..... **M. Darre**

Ethnologie - Hygiène - Zootechnie - Economie rurale

Chaire d'Alimentation :

— Professeur titulaire ..... **M. Fallu**
— Maître-Assistant ..... **M. Griess**

Botanique appliquée - Agronomie - Alimentation

COURS COMPLÉMENTAIRES — CHARGÉS D'ENSEIGNEMENT

Antibio-thérapie des Maladies infectieuses	MM. MONNIE
Aspect médical des Zoonoses	Armenga
Energétique et Métabolismes	Labouche
Initiation à l'informatique biomédicale	Fernet
Agronomie	Briseboi
Les Marchés internationaux de l'Elevage	Blanc
Organisation de l'Elevage bovin	Sablayro
Responsabilité Civile et Pénale du Vétérinaire-Inspecteur des Denrées alimentaires	Linon
Rôle économique des collectivités locales	Eeckhout
Rentabilité de l'élevage	ROUCH

La Faculté et l'Ecole déclarent n'être pas responsables des opinions émises par les candidats (Délibération de la Faculté, en date du 10 mai 1891 et du Conseil de l'Ecole, en date du 13 juin 1924).

UNIV. LEIDEN BIBL.

A M E S P A R E N T S

Puisse ce modeste travail être un témoignage de mon affection et de ma reconnaissance pour les sacrifices qu'ils se sont imposés pour moi.

A M A F E M M E

Avec tout mon amour.

A M E S B E A U X - P A R E N T S

Qui, par leur affection, ont su créer autour de moi une deuxième famille.

A M E S G R A N D S - P A R E N T S

Qui m'ont toujours encouragé.

A T O U T E M A F A M I L L E

A M E S A M I S

A NOTRE PRESIDENT DE THESE

MONSIEUR LE PROFESSEUR BESSOU

de la Faculté de Médecine de Toulouse

Qui nous a fait le grand honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.

Hommages respectueux.

A NOTRE JURY DE THESE

MONSIEUR LE PROFESSEUR FLORIO

Directeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Chevalier de la Légion d'Honneur
Officier de l'Ordre national du Mérite

Qu'il nous permette de lui exprimer toute notre gratitude pour l'accueil paternel qu'il nous a toujours réservé, et pour sa constante bienveillance.

MONSIEUR LE PROFESSEUR LESCURE

de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Qui a bien volu faire partie de notre jury de thèse.
Hommages très respectueux.

A MONSIEUR LE DOCTEUR CHATELIER

Spécialiste de Recherches du Service de Santé des Armées
Chevalier de l'Ordre national du Mérite
Croix de Guerre 39-45
Médaille d'Honneur du Service de Santé des Armées

Qui nous a permis de réunir notre documentation et nous a prodigué de précieux conseils dans l'élaboration de ce travail.

Qu'il trouve ici l'expression de notre reconnaissance et de notre profond respect.

PLAN

PREMIERE PARTIE

LES SINGES

Chapitre I : Singes en vol balistique.

A) Singes en V2
B) Singes en aérobée 1948-1952 (U.S.A.)
C) Vol de « Old Reliable » 1958 (U.S.A.)
D) Vol de « ABLE et BAKER » 1959 (U.S.A.)
E) 1. — Vol de HAM 1961 (U.S.A.)
2. — Vol de « ENOS » 1961 (U.S.A.)
F) Vol de MARTINE et PIERRETTE 1967 (France)

Chapitre II : Les biosatellites.

L'expérience biosatellite III et « BONNY ».

DEUXIEME PARTIE

LES RONGEURS

Chapitre I : Rongeurs en ballon

Chapitre II : Rongeurs en fusée

A) En V2 (U.S.A.), en aérobée
B) En fusée « Véronique » (France).

Chapitre III : Rongeurs en Spoutnik.

TROISIEME PARTIE

LES CARNIVORES

Chapitre I : Les chats

A) Chats en avion

B) Chats en fusée

Chapitre II : Les chiens

a) Préparation

b) Vols

1. — *Vols en fusée*

A) en cabine hermétique à 110 kms

B) en cabine hermétique à 210 kms

C) en cabine non hermétique

2. — *Vols en Spoutnik*

A) Spoutnik II : « LAIKA »

B) Spoutnik III

C) Spoutnik IV

C) Spoutnik V et VI

3. — *Vol en « Cosmos* 110 ».

QUATRIEME PARTIE

CONCLUSION GENERALE

INTRODUCTION

« La terre est le berceau de notre pensée, mais on ne peut se suffire éternellement d'un berceau ».

C.-E. TSIOLKOVSKY.

Il est certain que l'homme a toujours rêvé de s'échapper de la terre, se déplacer dans les cieux, comme les oiseaux, et conquérir l'espace. L'ancienne mythologie, et la plupart des religions nous ont laissé une abondante représentation d'hommes ailés, d'anges ou d'animaux sacrés habitant les cieux.

Un des premiers astronautes légendaires fut Icare. En compagnie de son père, Dédale, il tenta de s'élever dans les airs grâce à des ailes en plumes d'oiseaux. La cire qui les essemblait fondit à l'approche du soleil et le malheureux fut précipité dans les flots. On devine déjà, d'après cette légende, les dangers qui guettent les audacieux qui veulent se faire les égaux des dieux.

Pendant longtemps, la conquête de l'air resta du domaine de la légende, puis du roman. Mais ces romans furent parfois dune précision troublante. Nous lisons dans « Autour de la lune » que les astronautes ARDAN, NICHOLL et BARBICANE avaient emporté avec eux coq,

poules et deux chiens : « DIANE » et « SATELLITE ». Ce que Jules VERNE avait raconté dans son roman, pure fiction, à l'époque, devait se réaliser à quelques détails près.

La grande aventure astronautique a commencé sous nos yeux et nous allons voir que le rôle des animaux dans l'espace, esquissé par Jules VERNE, a été prépondérant.

Le premier ballon des frères MONTGOLFIER s'éleva, vide, le 5 juin 1783. Puis, le 19 septembre, à Versailles, en présence du roi et de la cour, les premiers aéronautes du monde : un mouton, un coq et un canard, furent emportés à quelques 300 m. d'altitude et atterrirent sains et saufs 3 km plus loin après un vol de huit minutes. Ce vol eut une importance considérable à l'époque.

Peu après, les vols en ballon se multiplièrent. Ils furent parfois dramatiques. PILATRE DU ROZIER fut la premirèe victime d'un accident aérien, son ballon ayant pris feu. En 1873, Gaston TISSANDIER s'éleva à 8.840 mètres, mais il restait seul en vie à l'atterrissage, ses compagnons étaient morts par anoxie aiguë.

L'homme n'est pas fait pour voler, il s'en est vite rendu compte et une nouvelle science, la Médecine Aéronautique, s'est développée parallèlement à la conquête de l'air.

Il n'était pas possible de placer des animaux seuls en avion, car le pilote ne pouvait être qu'un homme. Mais, au fur et à mesure que les facteurs agressifs du vol étaient reconnus, leur action sur l'organisme a été étudiée en laboratoire. Là, ce sont des animaux qui ont pris place dans les caissons à dépression, centrifugeuses, tables vibrantes, etc...

Pour aller toujours plus vite et plus loin, la fusée prend la relève de l'avion car ce dernier reste lié à l'atmosphère.

Les pionniers de l'astronautique furent le russe Constantin Tsiolkovsky, l'Américain Robert Goddard, le Français Esnault Pelterie dont les calculs et mises au point des premières fusées passèrent inaperçus à l'époque.

Pendant la guerre, la fusée V2 ouvre, de façon sinistre, l'ère spatiale.

En 1951, aux Etats-Unis, pour la première fois, des êtres vivants, un singe et onze souris, sont emportés par une fusée « Aerobee » à 72 km d'altitude. A peu près à la même date, les Soviétiques effectuent des tirs semblables avec des chiens.

Le premier satellite : « Spoutnik 1 » fut mis en orbite le 4 octobre 1957, puis, le 3 novembre de la même année, fut lancé « Spoutnik II », ayant à son bord la chienne « Laïka ».

Les animaux allaient précéder l'homme dans la conquête de l'espace. Des chiens chez les Russes, des singes du côté américain, allaient servir de cobayes. En réalité, une foule d'animaux les plus divers, allant jusqu'aux reptiles, batraciens, insectes, sans compter des cultures de bactéries, ont pris place dans des capsules de fusée.

Nous allons essayer de retrouver la trace de ces héros obscurs. Mais, pour limiter le sujet qui apparaît déjà très vaste, nous ne parlerons que des mammifères qui ont ainsi contribué à la conquête de l'espace.

LES FACTEURS DU VOL SPATIAL

Selon GASENKO-YAZDOVSKY, les facteurs du vol spatial qui peuvent intervenir sur les organismes vivants sont à répartir en trois groupes :

1°) Facteurs en rapport avec la dynamique du vol spatial :

Accélérations,

Vibrations,

Bruits,

Non-pesanteur.

2°) Facteurs particuliers au milieu interplanétaire (éventuels) :

Ultraviolets, infrarouges, radiations visibles.

Radiations ionisantes.

Concentration de gaz et de matière solide.

3°) Facteurs en rapport avec un séjour plus ou moins long des organismes dans les conditions d'un vol spatial :

Isolement, vie en espace clos. Particularités du microclimat ;

Problèmes de nutrition, de rythme de vie, etc...

En considérant le coût d'une expérimentation dans l'espace, on comprend très bien le souci des chercheurs de recréer, dans la mesure du possible, en laboratoire au sol, certains de ces facteurs. Il va sans dire que toutes ces conditions ne sont pas reproductibles, notamment les radiations et la non-pesanteur ; en effet, les radiations cosmiques pouvant atteindre une puissance considérable, nécessiteraient un matériel beaucoup plus conséquent que celui dont on dispose actuellement ; quant à la non-pesanteur, on n'a pu que la simuler : l'immersion, par exemple, ne supprime pas la pesanteur, elle ne fait que répartir un poids d'eau déplacé sur la surface du corps immergé.

Cependant, l'action des vibrations, des accélérations, du bruit, etc... a été très bien étudiée au sol. Certains effets, tels que les décompressions brutales, ont même donnée lieu à une expérimentation très sérieuse, dans le cadre d'une prophylaxie de certains accidents de vols.

C'est ainsi qu'un nombre très grands d'animaux de toute espèce ont été soumis à des expériences de centrifugations, de vibrations, d'accélérations, de décélérations, de décompressions explosives ou non. En fait, divers procédés d'investigations se sont montrés insuffisants. Avant d'envoyer un homme sur une orbite, il était nécessaire non seulement de connaître quelques uns des effets d'ambiance mais aussi de tester les mécanismes, les matériaux, en un mot d'éprouver la technique. C'est pourquoi on pourra convenir que l'expérimentation, en général, a été relativement modérée, eu égard aux multiples problèmes que l'homme a dû résoudre.

Mais le facteur d'ambiance, le plus popularisé par Jules VERNE et le plus mystérieux aussi, a été l'état de non-pesanteur. Toute proportion gardée, on est aussi

gêné pour le définir, que pour définir l'espace. De nombreux termes ont d'ailleurs été proposés :

Apesanteur : figurant dans les dictionnaires « état dans lequel les effets de la pesanteur sont anihilés ».

Cependant, dans la conversation, on ne distingue pas « l'apesanteur » de « la pesanteur ».

Non-pesanteur : en absence de pesanteur (peu élégant, mais plus clair).

Gravité zéro : en médecine aéronautique, indique l'état où un accéléromètre, étalonné en g, indique zéro.

Aréaction : terme évocateur, qui pêche phonétiquement comme « apesanteur ».

Le Docteur CHATELIER retient la définition de l'ingénieur DELATTRE, de l'O.N.E.R.A. : « L'état d'impesanteur correspond à l'absence apparente de poids à l'intérieur d'un système. S'il n'y a pas d'autres forces, les différents objets contenus dans ce système restent immobiles les uns par rapport aux autres et les réaction d'appui, qui compensent habituellement le poids des objets, n'existent plus ».

Un bref rappel physique, nous permet cet état :

Un objet, au sol, est soumis à la force $\overrightarrow{F} = \overrightarrow{mg}$. Connaissant exactement la masse du peson, ce dynamomètre peut servir d'accéléromètre et être étalonné en g. Si un objet se trouve dans une cabine de fusée, il sera soumis à une force $\overrightarrow{F} = \overrightarrow{mg}$ et à une force de propulsion $\overrightarrow{Fp} = \overrightarrow{m\gamma}$. Il subit donc, pendant la propulsion, une accélération $\overrightarrow{g} + \overrightarrow{\gamma}$ et son poids apparent est $P' = m\,(\overrightarrow{g} + \overrightarrow{\gamma})$.

En fin de propulsion, l'astronaute et sa capsule sont sur une trajectoire balistique, parabolique ou orbitale ou en chute libre.

La force d'attraction terrestre $F = mg$ existe toujours mais, puisque l'ensemble est animé d'une vitesse variable, on peut former $\frac{dv}{dt} = \gamma$.

Cette accélération peut se décomposer en force tangentielle et centrifuge, mais en tout point de la trajectoire on peut écrire $\vec{P} = \vec{Fi}$, ce qui donne $mg = m\gamma$ d'où $\vec{g} = \vec{\gamma}$. L'accéléromètre indique zéro lorsque $\vec{g} = \vec{\gamma} = 0$.

Bien entendu, le délai accordé est fort court. Il a fallu l'avènement des fusées pour atteindre quelques minutes, et les satellites pour une expérimentation allant de quelques heures à plusieurs jours.

Cette condition peut être fournie pendant 25 à 50 secondes lorsqu'un avion exécute une trajectoire parabolique, dite képlérienne. Ce moyen a été souvent utilisé, tant au cours d'expériences sur animaux, que sur hommes.

PREMIÈRE PARTIE

Les Singes

INTRODUCTION

1.) Interet de l'utilisation des singes :

Les cosmonautes humains ont présenté des troubles variés lors de leurs voyages cosmiques qui peuvent tous être observés chez ces animaux :

— Troubles végétatifs,

— Troubles de l'équilibration,

— Troubles métaboliques,

— Troubles du comportement psychomoteur,

car les singes représentent un des sous-ordres des primates qui ont une céphalisation qui se rapproche de celle de l'homme.

Le coefficient de céphalisation de Dubois passe de 0,29 chez les Lémuriens à 0,45 chez les singes non anthropomorphes et 0,75 chez les singes anthropomorphes ; il est de 2,82 chez l'homme ; il y a chez les singes un développement du cortex cérébral auquel se superpose un développement psychique. Le crâne devient de plus en plus volumineux, s'avançant au-dessus de la face qui se réduit ; le trou occipital tend à devenir inférieur ; les orbites, par leur position, permettent l'acquisition d'un champ visuel binoculaire et d'une

vision stéréoscopique avec extension des centres visuels cérébraux. Cependant, les cavités nasales et l'appareil olfactif régressent.

Ils conservent certains caractères primitifs : leurs membres ont cinq doigts : ils jouissent donc également d'un développement psychique incontestable et d'une prodigieuse liberté de mouvement des membres. Leur conformation anatomique autorise une sérieuse étude de gestes et de position en capsule ; ils ont une résistance particulière aux accélérations (départ, retour) ayant une grande faculté de récupération.

Les chercheurs les ont utilisés :

1) *Au sol :* en centrifugeuse, en caissons de décompression, comme tests biologiques ;

en radiologie (ils présentent tous les troubles d'irradiation que l'on rencontre chez l'homme), etc...

2) *Dans l'espace* : pour résoudre certains problèmes de biologie ;

pour préparer et vérifier les moyens de protection à utiliser, pour permettre aux cosmonautes d'accomplir correctement et sans danger, leur mission.

De même que l'effort spatial a fait progresser la technique, parallèlement les expériences biologiques spatiales ont fait se pencher les chercheurs sur de nouvelles méthodes (capteurs nouveaux, appareils miniaturisés, chirurgie, implantations, cathétérismes permanents).

2.) Choix de l'espece de primate.

a) *Les plus petits :*

Les Ouistitis : leur physiologie et leur neuroanatomie sont peu connues ;

Les Saïmiris (Saïlmiri Sciureus): Singes de l'Amérique Tropicale, autrement appelés singes-écureuils.

b) *Les plus grands :*

Ce sont tous des singes de l'ancien monde.

Parmi eux : Gorilla-Gorilla peut peser jusqu'à 250 kg et est doué d'une force colossale ; il a une santé fragile et est peu maniable.

Chimpanzé Pan Troglodytes dont la taille, pour l'adulte, peut atteindre 120 à 170 cm, et le poids 50 à 75 kg. II est donc comparable à l'homme par ses dimensions ; c'est un excellent sujet biologique qui a été bien étudié et qu'on a donc retenu.

c) *Les animaux de taille moyenne* :

Ils sont très utiles pour les recherches spatiales. Ils allient des caractères morphologiques intéressants à un développement de leur système nerveux suffisant. Bien que parfois peu sociables, ils sont néanmoins utilisés.

Parmi eux, la famille des Cercopithécidés, avec le groupe des macaques, est la plus intéressante. On y trouve :

Macaca Sylvana, 75 cm, ou Magot (Rocher de Gibraltar). Très intéressant, car acclimaté à nos pays tempérés.

Macaca Nemestrina : 45 cm ; vit en Indo-Malaisie, à Sumatra et à Bornéo. Les Malais le dressent à jeter à terre les noix de coco. C'est un animal à caractère docile et capable d'effectuer un travail pour l'homme : il s'agit là d'un cas rarissime. C'est un remarquable matériau d'expériences et de conditionnement. Son intérêt justifie une longue parenthèse.

En 1961, au U.S.A., le choix s'arrêta sur lui, en raison de sa docilité, de sa facilité pour apprendre, de sa tolérance aux manipulations, alliés à une grande sensibilité aux facteurs d'agression.

Dans le type Macaca Nemestrina, on distingue deux sous-types :

— Le Malaisien : c'est un animal à peau uniformément rose, au système pileux clairsemé, dont le cuir cheveulu porte une bande sombre au centre du crâne, de physique endomorphe, c'est-à-dire élancé.

— Le Thaï : il est d'ordinaire ectomorphe (musclé et large). Son système pileux crânien, plus abondant sur les côtés, lui fait un crâne apparemment plus plat. Les commissures externes des paupières, très pointues, lui donnent un air oriental. Elles sont soulignées d'une mince traînée rouge chez les mâles. Il a une longue barbe incurvée et une cape couvrant ses épaules. Si le Malaisien croît rapidement pour atteindre 25 livres à l'âge adulte, le Thaï, par contre, se maintient pendant six mois à un poids environnant 14 livres : avantage qui se passe de commentaires.

Macaca Mulatta (Macacus rhésus) : 55 cm, Himalaya. Il peut vivre à une altitude de 2.000 à 3.000 m. Il est capable de nager. Il est bien connu anatomiquement et

son adaptation à l'altitude en fait un animal type pour les expériences spatiales. Son conditionnement n'est pas aisé : il a un caractère assez agressif.

3) Achat des animaux :

Les animaux sont proposés sur le marché par des revendeurs spécialisés. Leur coût est très élevé à cause des nombreux problèmes posés par leur capture et leur stockage.

Le prix moyen de quelques animaux :

Macaca Nemestrina : 250 à 300 F.
Macaca Mulatta : 300 à 350 F.
Chimpanzé : 4000 à 5000 F.

4) Entretien des animaux :

Une expérience spatiale demande au départ la sélection d'animaux parmi une centaine d'autres ; d'où un problème d'achat, de locaux, de personnel et de pathologie.

a) *Les Chimpanzés :*

Ils ont une pathologie variée et sont sensibles à de nombreuses agressions microbiennes humaines.

Leur nourriture a deux rôles : celui de nourrir et celui de récompenser. A Holloman, par exemple, il est proposé à un chimpanzé de 25 kg :

— fruits : 5 kg,
— carottes, navets : 500 g,
— Purina chow monkey : 2.000 calories,
— cocktail lait : 1/2 litre,
— gelée de groseille : 30 g,
— vitamines : une cuillerée à café.

b) *Les Macaques :*

Les normes alimentaires sont adaptées au poids de 4 à 8 kg d'un Macacus.

CHAPITRE I

SINGES EN VOLS BALISTIQUES

A. — SINGES EN V2.

Le coup d'envoi de l'expérimentation en pesanteur réduite a été donné par les U.S.A., par une série de vols en fusée en haute altitude, avec des animaux, en 1948. Le premier véhicule utilisé fut la fusée allemande V2, dont les américains avaient saisi un grand nombre.

Pas moins de cinq vols d'animaux furent effectués en V2 depuis White Sands ; enfin, en 1951, quand l'Aéromédical Laboratory commença à utiliser sa fusée dernière-née, l'« Aerobee », les opérations se déroulèrent si bien qu'elles furent entièrement confiées à la Base l'HOLLOMAN (Nouveau-Mexique U.S.A.).

Le héros du premier vol animal en fusée fut un singe Rhésus de neuf livres, nommé Albert. Il fut équipé pour fournir des données cardiaques et respiratoires. Le 18 juin 1948, il prenait enfin son départ vers l'espace, mais subissait une série de déboires et ne livrait aucun renseignement (en V2 : altitude atteinte : 37 miles). On ne put le récupérer vivant par la suite d'une défaillance de la récupération en parachute.

L'année suivante, le 14 juin 1949, un nouvel essai fut tenté ; Albert II atteignit une altitude de 83 miles, fut à nouveau victime d'une défaillance du parachute, mais on put apprendre, par les données transmises tout au long du vol, qu'il n'avait pas subi d'effets pathologiques sérieux du fait de l'apesanteur, des radiations cosmiques, ou de tout autre facteur agressif dû au vol.

Il restait donc trois fusées V2 :

Dans l'une, le singe dut son mauvais sort à la fusée.

Dans l'autre, au parachute.

Une souris devait occuper le dernier V2 expérimental. Soulignons en passant les difficultés rencontrées par le seul fait de la récupération.

B. — Singes en aerobee.

Les vols de singes reprirent, en Aerobee cette fois, lancée de la base d'Holloman, le 18 avril 1951. Les données physiologiques des signes furent aisément obtenues, aucun trouble majeur ne fut signalé, mais la récupération fut encore ratée.

Il fallut attendre la deuxième aerobee, lancée le 20 septembre 1951, pour avoir la satisfaction d'un parachutage réussi. Un singe muni d'instruments fut récupéré après un vol à 236.000 pieds, de même que les onze souris qui l'accompagnaient.

Succès d'ailleurs renouvelé avec le troisième et dernier vol en Aerobee, le 21 mai 1952 ; tous les passagers, deux singes et deux souris, rentrèrent sains et saufs, et l'un des singes fut ensuite envoyé au zoo de Washington.

(Nous reparlerons des petits rongeurs dans un autre chapitre).

Les observations portèrent sur le rythme cardiaque, respiratoire, les pressions artérielles et veineuses de sept singes anesthésiés : Rhésus, Cébus ou Cynomolgus. L'anesthésie était réduite à une intraveineuse de pentobarbital sodique pour couvrir la période de fixation de canules et d'électrodes. Elle était suivie, soit d'une injection intraveineuse, soit d'une injection sous-cutanée de morphine au dosage calmant de 2 mg/kg.

Les animaux étaient immobilisés pour des raisons de sécurité, en position étendue sur des lits de gomme spongieuse, recouverte de nylon. Dans tous les V2 et dans une Aerobee (Aerobee I), l'échec de la récupération provoqua un impact de plusieurs milliers de « g », entraînant une mort instantanée.

Dans le cas d'Aerobee II et III, l'ouverture correcte du parachute permit la récupération d'animaux vivants. Cependant, dans « Aerobee II », les animaux furent exposés à des températures très élevées avant le retour, et le singe, apparamment sain et sauf, mourut pendant son transport à la Base, tandis que les souris survécurent.

A la suite d'une autopsie, on attribua la mort au choc thermique.

Quant à « Aerobee III », on retrouva la capsule presque immédiatement, et les deux animaux furent retournés au laboratoire une heure après la mise à feu.

Donnees physiologiques.

a) *Renseignements techniques.*

Les capsules avaient une réserve d'oxygène de huit heures et, par un système de recyclage, le gaz carbonique

et la vapeur d'eau étaient éliminés. La respiration était mesurée par un thermocouple placé dans l'orifice d'un masque en gomme spéciale.

Des tracés électrocardiographiques étaient recueillis à partir de capteurs (ici des aiguilles-électrodes) sous-cutanés implantés dans les membres et la poitrine.

Dans les Aerobee II et III, des canules artérielles et veineuses de polyéthylène de 0,23 mm de diamètre internes étaient connectées à des transmetteurs de pression « Statham ». Pour éviter la formation de caillots, les canules étaient continuellement rincées par deux seringues automatiques de quatre c.c. de débit à l'heure, perfusant une solution saline physiologique héparinée.

La traduction électrique des phénomènes physiologiques était amplifiée à bord, puis transmise au sol au moyen d'un émetteur à modulation de fréquence placé dans l'extrémité de la pointe de la fusée V2 ou Aerobee.

Les signaux émis par celui-ci étaient reçus à plus de 80 miles de distance par les stations au sol d'Holloman.

Là, les résultats étaient convertis en tracés physiologiques familiers et enregistrés sur papier photographique par des oscillographes.

b) Discussion.

Ces expériences utilisant des sujets anesthésiés, représentent la première tentative de transmission d'informations physiologiques, à partir d'une fusée, à l'aide de techniques télémétriques. Les tableaux des données de pouls et de respiration et les électrocardiogrammes, chez ces animaux modérément anesthésisés ont montré une remarquable latitude d'expression des troubles (ce détail est fondamental) car il a été souvent reproché

aux Américains d'utiliser des animaux anesthésiés : on a même parfois mis en doute la valeur de ces expériences. Cette méthode a pourtant permis d'obtenir de précieux renseignements.

Les animaux n'ont pas été incommodés de façon significative par les stress dûs à l'accélaration de la propulsion, la rotation, la pesanteur réduite, etc... Il a semblé alors que le lancement, à partir de véhicules à long parcours, était possible, pourvu que l'animal soit convenablement protégé et que le parachutage soit sûr. Dans le nez d'« Aerobee II », il fut noté une élévation de température de 15° centigrade, en quatre minutes, depuis le départ, ce qui mit l'accent sur les dangers dûs à la chaleur lorsqu'une fusée atteint une vitesse de un mile par seconde.

Bien entendu, ce record de vitesse a été pulvérisé depuis. On communique actuellement aux satellites artificiels une vitesse de libération de 8 à 11 km/.

On avait noté la chute lente des pression artérielles systolique et diastolique durant la phase de pesanteur réduite d' « Aerobee II » : on retrouvera plus tard des phénomènes semblables.

En conclusion, abstraction faite des souris qui ont aussi intéressé ces premières recherches, on peut reconnaître aux chercheurs le mérite d'avoir été persévérants à la tâche et d'avoir résolu quelques-uns des premiers grands problèmes.

C. — LE VOL BIOLOGIQUE DE OLD RELIABLE

RESUME.

Le vendredi 13 décembre 1958, un missile Jupiter fut lancé sur une trajectoire balistique emportant à 300 miles dans l'espace « un singe écureuil Saïmiri Sciureus ». Les renseignements transmis par télémesure

indiquaient que le singe était en bon état, jusqu'au moment où l'interruption des signaux, lors de la rentrée dans l'atmosphère, montra qu'un incident était survenu. Le cône d'ogive ne fut pas récupéré.

Cependant, cet échec enseigna beaucoup et permit le succès de ABLE et BAKER.

1. — DEVELOPPEMENT.

A bord du missile, on avait d'abord décidé d'envoyer de nombreux spécimens animaux et végétaux, ce qui fit donner au projet le nom de l'« Arche de Noé ».

Après beaucoup d'essais, on décida d'envoyer un singe. On choisit un singe écureuil (Saïmiri Sciureus) en raison de sa petite taille et de son faible poids. Ces singes écureuils apparurent de suite comme des sujets très excitables et très sensibles, ce qui parut être un avantage pour détecter les plus faibles stress.

◆ LA BIOCAPSULE ET L'EQUIPEMENT AUXILIAIRE.

Elle ressemblait à une boîte à couvercle incurvé (25 cm x 35 cm) et à fond incliné. Son épaisseur variait de 12 cm à 18 cm, et son volume était de 12,5 litres. Elle était faite d'une feuille d'aluminium avec des nervures de renforcement à l'extérieur. Un revêtement élastique, épais de 0,32 cm recouvert d'une couche de laine de verre de 0,1 cm, et protégé par deux feuilles d'aluminium gommé, assurait l'étanchéité à l'eau et l'isolement thermique de la surface de la capsule. Un hublot d'accès de 9,5 cm de diamètre servait d'ouverture à une extrémité pour l'introduction du cylindre supportant l'animal et de l'équipement. Un ensemble plaque-anneau assurait l'étanchéité au vide de la capsule. Une deuxième ouverture, plus petite, à la même extrémité, portait une soupape de détente de pression. Cette

soupape avait pour but d'éviter une surpression intérieure, supérieure à 1 kg 400 environ par cm2. Une troisième ouverture, à l'autre extrémité de la capsule portait une prise électrique étanche au vide, pour la connexion de l'amplificateur intérieur de la capsule à l'équipement de télémétrie de l'ogive.

Le poids total de la capsule et de son contenu était de 13 kg 6.

◆ Equipement et disposition internes.

a) *Le dispositif de support et de contention de l'animal.*

L'animal était supporté et maintenu par un container cylindrique qui pouvait être introduit dans la capsule par le hublot d'accès. Ce container procurait un support rigide et une assise confortable contre les forces d'accélération et élevées et les vibrations intenses. Il consistait en deux cylindres coaxiaux avec plaques d'extrémités. Une portion de ces cylindres était supprimée pour permettre l'observation de l'animal et le reste de la surface était perforé pour permettre la ventilation.

Le container étant introduit dans la capsule, les extrémités du cylindre extérieur reposaient sur des coussins caoutchoutés, fixés à l'intérieur de la capsule et sur la face interne de la porte du hublot.

Les deux cylindres étaient séparés par des tampons de caoutchouc.

Le cylindre intérieur contenait une couchette de caoutchouc-silicone modelée, adaptée à la forme de l'animal et perforée pour la ventilation.

Une sangle élastique, fixée à la couchette, servait à fixer le corps de l'animal. Un connecteur électrique était également incorporé dans le caoutchouc-silicone, reliant les capteurs physiologiques de l'intérieur du cylindre à l'amplificateur.

Deux larges sangles de nylon étaient fixées au cylindre intérieur. Elles servaient de sangles abdominales et thoraciques pour immobiliser l'animal. La sangle thoracique portait également le microphone thoracique monté sur un tampon de caoutchouc.

Le casque était muni d'une doublure intérieure de peau de chamois adaptée à chaque singe individuellement.

Cette doublure était recouverte d'une couche d'un composé de caoutchouc synthétique dans lequel était incorporé un filet de toile de nylon de renforcement.

Deux boucles placées sur le casque recevaient les sangles fixées sur les couchettes de caoutchouc, pour l'immobilisation de la tête.

b) *Equipement pour le maintien en vie.*

Il avait pour but d'assurer un environnement convenable en oxygène, humidité, pression et température, et recueillir les excreta pendant une période de 24 heures.

Le système d'oxygène et pression de la capsule :

La réserve d'oxygène était constituée par l'oxygène comprimé d'une bouteille portative de 360 cc, qui aurait occupé 42 litres à la pression atmosphérique. On disposait ainsi d'une réserve de 60 heures pour une consommation horaire de 0,7 litres.

Il y avait deux soupapes : une à pointeau, réglée pour un débit régulier à un taux légèrement supérieur au débit normal ; une autre soupape de détente servait à diminuer éventuellement la pression intérieure de la capsule, en cas de sous-consommation d'oxygène.

c) *Le gaz carbonique et les absorbeurs d'eau.*

Le gaz carbonique était absorbé par le baralyme sous forme de pellets. Le réglage de l'humidité dans la capsule se faisait au moyen de « mobilhead », matière silicieuse fondue sous forme de perle.

La quantité de produit absorbant était déterminée empiriquement de façon à maintenir le taux de CO_2 en-dessous de 1 %, et l'humidité relative en-dessous de 70 % pendant une période de 24 heures.

d) *Nourriture de l'animal et dispositions prises pour les excreta.*

Les animaux ne recevaient aucune nourriture pendant les périodes d'essais de 24 heures ou au cours du vol réel en missile. Auparavant, ils avaient été nourris d'arachides crues pour provoquer une légère constipation.

Ils recevaient de l'eau de boisson immédiatement avant leur introduction dans la capsule et immédiatement après leur sortie.

Les urines et matières fécales étaient reçues dans des langes imbibées de mobilhead pour absorber au moins une partie de l'eau urinaire.

e) *Régulation thermique.*

La température était réglée par cinq sources et deux pertes de chaleur.

— *Les sources* : La chaleur métabolique de l'animal ; celle libérée par l'absorption du gaz carbonique et de l'eau ; celle pénétrant dans la capsule à travers l'isolant et, enfin, celle d'un radiateur de résistance de 8 watts, réglé par thermostat.

— *Les pertes :* La température extérieure de l'ogive, inférieure à celle de la capsule, et de l'azote froid introduit à partir d'une réserve d'azote liquide. On ne pouvait contrôler qu'une source de chaleur et qu'une perte de chaleur.

Le thermostat était réglé pour maintenir la température de la capsule au-dessus de 16° C, et le refroidissement par l'azote pouvait être mis en action à volonté pendant la période des préparatifs.

f) *Electronique et dispositifs de mesure.*

Les quatre mesures physiologiques et les deux mesures d'ambiance de fonctionnement du système biologique, pouvaient être transmises de façon continue aux stations réceptrices télémétriques pendant toute la durée du vol ; elles pouvaient aussi être enregistrées par des instruments, à bord.

Les mesures physiologiques :

— Electrocardiogramme,

— Le rythme respiratoire,

— Les bruits thoraciques,

— La température corporelle.

◆ La transmission au sol.

Elle était assuré epar deux channels à large bande et quatre channels commutés du système de télémétrie FM-FM.

Les transducteurs fournirent des impulsions suffisantes pour mouvoir les oscillateurs directement, sans amplification.

Des amplificateurs, en effet, avaient été prévus pour augmenter les impulsions jusqu'à un niveau convenable, pour la télémétrie.

Les amplificateurs et les transducteurs d'ambiance étaient disposés en un ensemble unique pesant 453 g.

◆ Description des mesures :

— *Electrocardiogramme.*

L'électrode active était placée sur la région précordiale.

L'électrode indifférente sur le côté droit du dos de l'animal.

L'électrode proprement dite était constituée d'un réseau de platine à mailles fines. Un court morceau de câble torsadé était soudé au réseau, et l'ensemble était recouvert d'une mince couche d'argent brillant.

Un tube de polyéthylène était glissé sur le câble torsadé, en vue de l'isolement électrique. L'ensemble était stérilisé, et chaque extrémité du tube de polyéthylène était fixée par la chaleur au câble torsadé.

Le câble de l'électrode était glissé sous la peau à l'aide d'une aiguille, sous anesthésie locale, et un gilet de drap protégeait l'électrode des geste éventuels de l'animal.

L'incision de pose étant cicatrisée, il n'existait plus de risque de mauvais contact sujet-électrode, et de gêne dûe aux vibrations et accélération.

Les électrodes étaient reliées au circuit de l'amplificateur.

— *Rythme respiratoire.*

Il n'était mesuré qu'à partir de l'air expiré par une seule narine du singe, à l'aide d'un thermistor miniature inclus dans une perle de verre et placé sur le trajet du courant d'air des narines.

— *Bruits thoraciques.*

Cette mesure, obtenue par ébranlement du diaphragme d'un petit « transducteur » sensible à la pression, permettait la détermination du rythme cardiaque en cas de défaillance électrocardiographique, et l'enregistrement des vibrations de la paroi thoracique de nature extracardiaque :

mouvement du corps, frissons, cris, etc...

— *Température corporelle.*

Elle était donnée par un enregistrement des variations de résistance d'un thermistor à sonde de verre fixé dans l'aisselle gauche.

Les mesures d'ambiance :

— Température ambiante : fournie par un ensemble de deux thermistors ;

— Pression ambiante : par un transducteur du type potentiomètre.

A ces systèmes, venaient s'ajouter un dispositif de mesure des radiations, constitué de deux jeux de plaques à enregistrement nucléaire, comprenant chacun trois plaques Ilford G5 et trois plaques Kodak NBT, avec une épaisseur d'émulsion de 300 microns, et un dispositif de mesure de la température instantanée.

g) *Procédure de mise au point et d'investigation pour la préparation au vol.*

L'équipement décrit fit l'objet d'une expérimentation soigneuse.

Essais de la capsule et de l'équipement.

— Essais de pression : on simula une décompression explosive.

On soumit ensuite la capsule à une pression d'eau élevée.

— Essais des vibrations portant surtout sur l'absorbeur de gaz carbonique.

Ils motivèrent l'emploi du baralyne.

— Essais d'accélération :

On testa divers matériaux de capitonnage sous des formes d'accélération allant jusqu'à 100 « g ». Le choix s'arrêta sur un composé de caoutchouc siliconé commercial.

1. — Examen du singe-ecureuil.

On connait mal le singe-écureuil et on se proposait de recueillir des informations sur les réactions de l'animal, à certains stress, et de le familiariser avec les conditions d'ambiance.

a) *La contention et le confinement.*

On arrêta à 24 heures la durée maxima de confinement.

Une température extérieure supérieure à 27° C risquait de faire monter la température corporelle de l'animal en contention.

Une température inférieure à 25° C aurait produit l'effet inverse.

Une température moyenne de 26° C fut bien tolérée.

b) *Physiologie.*

L'ordre de grandeur normal du rythme cardiaque était de 120 à 375 battements par minute.

A mesure que le confinement se prolongeait, il fut noté une baisse notable de ce rythme.

L'ordre de grandeur normal du rythme respiratoire était, chez les singes-écureuils enfermés, de 50 à 150 mouvements respiratoires par minute. Le confinement produisait les mêmes effets que sur le rythme cardiaque.

c) *La consommation d'oxygène.*

Sur les douze animaux examinés, d'un poids moyen de 300 grammes, il fut possible d'évaluer la consommation à 1,66 litre par kilo et par heure. Ce taux passait à 1,4 litre pour des animaux de 500 grammes.

— Procédure de lancement :

Deux capsules prêtes pour le vol et six animaux furent transportés de Pensacola à Cap Canaveral, actuellement Cap Kennedy, quatre jours avant la date prévue pour le lancement. Une équipe rejoignit les bateaux de récupération.

2. — Le vol — Discussion.

Bien que l'ogive n'eut pas été récupérée, les mesures transmises par télémesure fournirent les renseignements nécessaires concernant l'état physiologique du singe au cours du vol.

L'enregistrement couvre une durée de 930,5 secondes. Tous les transducteurs fournirent des données valables, sauf le thermistor respiratoire, à cause d'un déplacement de la perle. Une modification de sa fixation permit de recueillir un signal modulé pour « ABLE » ce qui confirme cette hypothèse.

La télémesure constitua un remarquable exemple d'habileté professionnelle et d'ingéniosité. Pendant le compte à rebours, la fréquence cardiaque, relativement lente avec arythmie sinusale, indiquait que l'animal ne subissait aucune agression psychique ou physique.

L'animal effectua un sursaut à la mise à feu et subit de courtes modifications dans le rythme cardiaque et respiratoire.

Au moment de l'arrêt de la propulsion : nouvelles modifications : pendant 15 secondes, abaissement de RS - T et de T, suivi par des ondes T anormalement hautes, puis nouvel abaissement, des déplacements de la ligne isoélectrique montrent que l'animal se débattait.

Le système circulatoire a peut'être été affecté par le passage de « 10 g » à « 0 g ». Durant la phase balistique en vol il n'y eut pas de différences notables dans le rythme cardiaque et respiratoire, et l'animal était en condition satisfaisante jusqu'à la disparition des signaux.

On sait que le cône n'a pu être récupéré.

D. — LE VOL BIOLOGIQUE N° 2 « ABLE » ET « BAKER »

RESUME.

Le jeudi 28 mars 1959, un missile Jupiter emporta deux singes sur une trajectoire balistique, à 1.500 miles de distance. On avait aménagé deux biocapsules sépa-

rées, l'une contenant un singe-écureuil, l'autre un singe rhésus de souche américaine.

Les données télémétriques indiquèrent que l'accélération de départ, le lancement, le vol, la rentrée dans l'atmosphère avaient été bien supportés.

Les singes furent récupérés et firent de suite preuve d'un solide appétit. Cette expérience eut un succès retentissant.

1. — Vol biologique « Able ».

Able était un Macaca Mulatta pesant moins de quatre kilos. Ce singe, selon l'expérimentation antérieure, avait été choisi pour sa grande aptitude à supporter les stress attendus.

Le système biocapsulaire se composait de quatre systèmes spéciaux : support et contention de l'animal, équipement de maintien en vie, appareils de mesures électroniques et ensemble pour cinématographie en vol.

Notons quelques différences :

Devant l'impossibilité de disposer convenablement des rations normales et de l'eau dans la capsule, la nourriture fut fournie sous forme d'injection intrapéritonéale de dextrose à 5 % au rythme de 5 cm3, répétée lentement une fois par heure. Les excréta (fécès et urine) étaient recueillis dans des langes.

Le réglage de la température était commandé par un thermostat qui la fixait à 20° C. Les mesures physiologiques comprenaient un enregistrement électromyographique.

Le singe ABLE subit un certain nombre d'épreuves cliniques :

— Hématologie - Parasitologie - Microbiologie.

Nous avons volontairement limité les renseignements techniques, suffisamment développés précédemment, de crainte d'alourdir l'exposé.

DISCUSSION.

Malgré un confinement prolongé, l'animal se comporta de façon satisfaisante. La période du compte à rebours lui-même a constitué un facteur d'agression certainement aussi grand que le vol lui-même : durant cette période de 64 heures, l'animal était couché face en bas et nourri par l'injection de dextrose.

Il y eut une petite réaction à la mise à feu, plus affirmée pendant la période de propulsion puis au moment de la rentrée dans l'atmosphère.

Les facteurs d'agression ont certainement été bien tolérés et, par la suite, l'autopsie de l'animal ne révéla aucune lésion.

L'électrocardiogramme d'ABLE fut un échec, mais la fréquence cardiaque put être connue d'après les tracés des bruits du cœur, ce qui confirme la nécessité de multiplier les méthodes de mesures des phénomènes vitaux pour pallier une panne éventuelle.

2. — VOL BIOLOGIQUE — BAKER

RESUME.

Sa préparation générale fut la même que pour le vol de « Old Reliable ».

On apporta quelques modifications dans tous les domaines et notamment au thermistor respiratoire.

La commande et l'enregistrement furent améliorés par la construction d'un « moniteur » biologique à deux voies qui permit la commande de deux capsules simultanément.

Discussion.

Baker était un singe-écureuil donc, à priori, une créature délicate. Cependant, sans médication spéciale, il ne présenta que des réactions modérées aux stress subis pendant le vol, et sortit sain et sauf de l'expérience.

Le thermistor amélioré fonctionna correctement. L'électrocardiogramme fut particulièrement éloquent : il indiqua la fréquence cardiaque, les mouvements thoraciques, l'activité musculaire manifestée par des mouvements corporels.

Il précisa l'origine du bloc cardiaque et des autres arythmies et dégagea les variations du complexe T, qui étaient un indicateur sensible, sinon spécifique des effets de stress.

Conclusion.

Les expériences envisagées sont relatives à l'envoi de trois singes dans l'espace à bord de missiles « Jupiter », selon une trajectoire balistique.

« Old Reliable » périt victime d'un incident lors de la rentrée de l'ogive dans l'atmosphère. On recueillit relativement peu de mesures, mais le retour des deux autres animaux fut justement considéré comme un succès ; le contrôle des éléments d'ambiance fut efficace.

On put recueillir sur « Old Reliable » les bruits thoraciques, le rythme respiratoire et l'électrocardiogramme. Il éprouva cependant quelques frissons qui furent à l'origine d'artefacts.

« Old Reliable » et « Able » réagirent aux événements majeurs du vol par une augmentation des fréquences cardiaques et respiratoires.

« Baker » eut des réactions aberrantes : pendant la période de prélancement, il présenta une augmentation de la fréquence suivie d'une inhibition cardiaque et une vasodilatation périphérique réflexe. Graybiel ajoute que ce phénomène s'est déjà produit alors que les stress physiques étaient à leur minimum.

On put noter une exagération de l'arythmie sinusale et l'apparition de deux blocs sino-auriculaires. On a donc évoqué le facteur émotif. Les chiens russes ont d'ailleurs souvent présenté des réactions physiologiques opposées dans de mêmes conditions expérimentales. La notion « d'individu » transparaît souvent à la faveur de telles constatations.

On a pu lire qu'Able avait subi une autopsie ; il n'a pu, en effet, survivre à l'anesthésie légère prévue pour l'enlèvement de ses électrodes.

Bien que deux animaux aient été récupérés sains et saufs, en définitive on a recueilli peu de données pour les efforts engagés. En fait, il faut se souvenir que la Recherche impose des travaux à très longs termes, et que les résultats ne sont humbles qu'en apparence.

Ces expériences soulèvent une nouvelle fois le problème de défaillance de mécanique aux répercussions compromettantes pour l'enchaînement d'un programme.

Elles nous invitent à multiplier les tests, à reconsidérer les solutions de sauvetage, enfin, à ne pas conditionner la Recherche par la rentabilité immédiate.

E. — LES VOLS DU PROJET MERCURY HAMM ET ENOS

En mars 1959, la N.A.S.A. annonçait son plan de projet MERCURY qui ébauchait une série de vols spatiaux devant préluder au placement d'un satellite habité par un être humain, sur orbite autour de la terre.

A HOLLOMAN, échut encore le rôle de ces préparatifs.

Le premier vol, désigné « MERCURY REDSTONE 2 » (MR-2) eut lieu le 31 janvier 1961.

Un chimpanzé fut lancé selon une trajectoire balistique, à l'altitude de 136,2 miles et récupéré 363 miles depuis le point de départ.

Le second vol, « MERCURY ATLAS 5 » (MA-5), effectué le 29 novembre 1961, consista en deux tours d'orbite terrestre.

1. — LE VOL MERCURY REDSTONE 2 (MR-2)

LE CHIMPANZE « HAM ».

Appareillage :

Il serait fastidieux d'insister sur certains détails de technique spécialisée, aussi nous nous bornerons à préciser que la capsule était équipée en vue d'évaluer la capacité de l'animal à effectuer certains gestes et certains exercices. Ce travail étant désigné sous le vocable de performance.

Le sujet :

HAM était un chimpanzé mâle pesant 37 livres, âgé de 44 mois. Il avait subi 219 heures d'entraînement

étalées sur une période de 15 mois portant sur un travail d'entraînement, et avait été soumis à des examens de tolérance aux accélérations.

Le travail de performance :

La capsule contenait un panneau comprenant des lampes et des leviers à mouvoir, en fonction des lampes ;

Une lampe rouge imposait au singe la manœuvre d'un levier précis, toutes les 15 secondes, sous peine de recevoir un châtiment matérialisé par une secousse électrique.

La réponse effectuée était suivie d'un éclair de lampe blanche de 3/10 de seconde.

Une lampe bleue signalait un travail différent : une fois allumée, elle imposait au singe de pousser une seconde manette, en moins de 5 secondes ; une réponse éteignait la lampe bleue ; une abstention ou un retard étaient sanctionnés. En vol, la lampe bleue s'allumait toutes les deux minutes ; cependant, à l'entraînement, on avait évité de fixer un intervalle de temps constant, pour ne pas conditionner l'animal.

Le temps entre apparition de la lumière et la réponse était le temps de réaction. Les bonnes réponses étaient récompensées.

Les secousses étaient données par des plaques placées sous les soles des pieds. Les données de performance étaient fournies en quatre points d'un système de télémesure. Pour assurer le maximum de renseignements, cinq compteurs étaient inclus dans le siège. On comparait ainsi renseignements enregistrés et renseignements transmis par télémesure.

Caractéristiques du vol et résultats :

A 5 h 30, le 31 janvier 1961, la couche contenant le singe fut placée dans la capsule, connectée à son support et à son circuit électrique.

Après la procédure du compte à rebours, interrompue à cause d'un retour de flamme, la fusée décolla à 11 h 55.

Durant le décollage, l'animal subit une poussée de 6 « g » puis la poussée passa à 17 « g », lorsque les fusées de libération entrèrent en action.

L'animal éprouva 7,5 mn d'apesanteur.

Quand la capsule atteignit, lors du retour, les couches denses de l'atmosphère, elle subit un mouvement de bascule, et, lors de la décélération, l'animal se vit infliger une force gravitationnelle transverse, dirigée du front vers le dos.

Bien qu'inférieure à la poussée de départ, d'avant en arrière, cette force s'appliqua plus longtemps.

Les performances ne furent pas affectées en apesanteur ; toutefois, lors de la décélération, le singe, éprouvé, reçut une secousse. Pour neuf allumages de lampes le temps de réaction fut de 0,82 s contre 0,8 avant le vol.

2. — LE VOL MERCURY-ATLAS (M.A.-5) ET LE SINGE « ENOS »

Sujet :

Il s'agissait d'un chimpanzé nommé « ENOS », âgé de 65 mois. Avant le vol, il avait aussi été soumis à des accélérations en centrifugeuse.

Il avait participé au projet de vol orbital de 14 jours, pendant lesquels il effectua les mêmes tâches qui l'attendaient en vol.

Il totalisait 1263 heures d'entraînement, échelonnées sur 16 mois, dont 343 heures au cours desquelles il était assujetti à la même contention qu'en fusée.

Le panneau :

Il comprenait trois leviers et trois poussoirs lumineux.

Un distributeur de pellets était aussi à bord.

Pour l'approvisionnement en eau, une tétine avait été placée à sa droite, et le moment venu, annoncé par une lampe verte, l'animal pour se désaltérer devait mordre le système de tétine.

La performance :

a) Les boutons d'extinction et les leviers.

Pour se nourrir, Enos devait presser 50 fois un levier après le signal d'une lampe jaune : il lui était délivré un comprimé de bananes.

Pour boire, il devait attendre 20 secondes après l'éclairage de la lampe verte pour manœvrer la tétine.

En cas d'erreur, il avait une secousse et 20 secondes de pénalisation.

b) Les problèmes de symbole impair.

Il s'agit ici d'un test répandu et qui consiste à mettre en évidence, dans un temps donné, un symbole différent parmi trois. Ce symbole, dans son apparition sur un écran, est volontairement en position variable.

Par exemple, dans un premier exercice de trois symboles :

2 cercles, 1 carré ; le carré sera au milieu des deux ; puis, dans un second exercice, un triangle (symbole impair) sera suivi de 2 carrés. On peut avoir ainsi une succession d'exercices.

L'animal étudié eut à résoudre 18 exercices de la sorte. Il disposait de 15 secondes pour presser le levier correspondant au symbole impair.

Si une réponse correcte était fournie dans les temps, après extinction de quinze secondes, un nouvel exercice suivait ; dans le cas contraire, ou même lors de retard, il recevait une secousse électrique et l'exercice se représentait jusqu'au succès.

La performance était donnée par le rapport :

$$\frac{18}{\text{résultats justes.}}$$

Caractéristiques du vol et résultats :

Durant la phase de départ, le singe subit deux maximum d'accélération de 6,5 « g », deux minutes après décollage ; puis de 7,2 « g » trois minutes plus tard. L'animal éprouva 183 minutes d'apesanteur. La capsule effectua deux révolutions terrestres selon un périgée de 99 miles et une apogée de 146 miles.

A la rentrée dans l'atmosphère, Enos éprouva six minutes de décélaration avec un maximum à 7,8 « g ».

CONCLUSION.

Du point de vue du comportement, on peut décrire ces vols comme des investigations, destinées à déterminer les incidences des conditions particulières du vol spatial sur l'exécution du travail appris.

Ces facteurs d'environnement se résument à l'action de forces agissant sur le singe, lors du départ du vol libre et de la rentrée dans l'atmosphère terrestre.

Sous l'angle des performances :

Chez HAM, il y eut une légère baisse de vitesse d'exécution et, immédiatement après le départ, il reçut une première secousse ; cependant, l'animal avait répondu en temps opportun et l'incident fut attribué à la minuterie, après examen des données de télémesure.

Mais, d'un autre côté, on reconnait que les 17 « g » d'accélération sont sans commune mesure avec les 6,7 et 7,4 « g » d'ENOS. HAM fut plus éprouvé qu'ENOS car il fut soumis pendant le vol à 14 « g » pendant 5 secondes, et 10 « g » pendant 10 secondes, à la rentrée : il reçut une deuxième secousse pour son manque de rapidité, mais de toute façon, ses réponses n'ont jamais dépassé une latence de 2 secondes.

ENOS fut victime, non de l'accélération, mais d'un dérèglement de l'appareil distributeur de punitions.

Au quatrième allumage de la lampe bleue, il reçut à tort une secousse. A l'épreuve des symboles, il reçut : trente-cinq secousses à la première série, et quarante et une à la troisième. Contrairement à ce que l'on pourrait s'attendre, et tout à l'honneur des chimpanzés, ces incidents ne compromirent pas la suite du programme. On n'aurait peut-être pas trouvé le même entêtement et le même calme auprès d'autres espèces animales.

Chez Enos, on releva un très grand nombre de contractions ventriculaires prématurées. Les spécialistes américains ont démontré qu'il n'y avait aucun rapport entre les secousses électriques ou le travail et le phénomène cardiaque.

Alors que pour Ham, les baisses de performance vont des données physiologiques normales, réciproquement, pour des données physiologiques atypiques, Enos ne présenta aucun trouble du comportement.

Ces vols eux-mêmes ont permis d'augmenter la viabilité de certains instruments et ne sauraient donner lieu à une extrapolation sur le plan humain.

D'autre part, à cette époque, les Américains jugeaient nécessaire l'exploration de la ceinture de Van Allen, évitée dans ces vols.

Durant le premier vol, la capsule effectua une trajectoire balistique ; durant le second, deux révolutions autour de la terre.

Ces vols connurent beaucoup de popularité aux U.S.A. et servirent de base à l'entraînement de Bonny qui aura à effectuer des travaux plus délicats et compliqués.

F. — MARTINE ET PIERRETTE

I. — Preliminaires.

Tandis qu'aux Etats-Unis on préparait le programme de vol de 30 jours, en France, la campagne biologique Vesta s'est matérialisée par l'envoi de deux singes, les 7 et 13 mars 1967 en fusée « Vesta ».

La préparation des animaux avait duré 8 mois et avait compris : manipulation, contention, effectuement de gestes psycho-moteurs conditionnés, sélection et opérations. Nous insisterons sur la technique d'implantation d'électrode.

II. — Protocole experimental.

Du 9 décembre 1966 au 7 février 1967, douze macaques nemestrimus ont été préparés à l'implantation chirurgicale d'électrodes, selon les voies suivantes :

6 voies d'électrocorticographie :

1 bifrontale,
1 prérolandique G,
1 postrolandique G,
1 prérolandique D,
1 postrolandique D,
1 bioccipitale.

1 voie pour l'activité de l'hippocampe ventral antérieur gauche.

3 voies de myographie pour les muscles de la nuque, du biceps et du triceps.

3 voies de physiologie végétative :

— rythme cardiaque,
— rythme respiratoire,
— température centrale.

Ces implantations ont été effectuées par le Docteur Chatelier, spécialiste de Recherche du Service de Santé des Armées, avec l'aide scientifique du Professeur Buser de la Faculté des Sciences de Paris.

◆ Les electrodes.

— Les électrodes corticales sont constituées par des fils d'argent de 40 centièmes, terminés par une boule, en contact avec la dure-mère. Les fils étaient isolés par un cathéter en polyéthylène, obturé au niveau de l'orifice crânien par une résine polymère.

— Les électrodes profondes (hippocampe) sont en alliage or-nickel, isolées au verni sauf l'extrémité profonde volontairement dénudée. Deux tiges sont descendues dans cette structure à une distance de 3 mm.

— Les électrodes de myographie, reliées au connecteur crânien, sont constituées par deux boucles de fil câblé d'acier inoxydable passé dans un cathéter en élastomère de silicone.

— Trois jours avant l'intervention chirurgicale, les animaux reçoivent des injections de vitamines K, C et antibiotiques.

◆ L'operation.

Précédée d'une anesthésie générale au Pentobarbital (Nembutal) à la dose de 0,4 à 0,7 ml d'une solution à 6,5 % en intrapéritonéale. Le singe est assis sur un coussin dont la température est asservie à la température rectale de l'animal. Son rythme cardiaque est écouté au cardiophone.

On place, en premier lieu, les électrodes de myographie dans les muscles du biceps, du triceps et de la nuque.

Puis, après mise à nu de la voûte crânienne, une série de trous est pratiquée. Dans 8, disposés en

4 paires, un fil d'acier inoxydable est passé et constituera un cadre solide.

Les électrodes corticales sont placées entre la dure-mère et l'os, et les profondes sont implantées sous contrôle de leur activité. Les orifices sont séchés et l'ammarrage et scellé à la résine « Texton ».

Ensuite, sont disposés deux connecteurs spéciaux. Les premiers enregistrements pourront se faire six à huit jours après l'intervention.

Signalons seulement les causes d'artefact :

1°) Phénomènes d'électricité statique;

2°) Boucles de masse ;

3°) Détection de la haute fréquence de la télémesure par des fils et objets métalliques.

Bien entendu, les chercheurs ont paré dans la mesure du possible à ces difficultés.

◆ Obtention des enregistrements.

a) *Physiologiques :*

— un appareil de télémesure FM multiplex, en vol ;

— au sol : enregistrement sur piste magnétique et polygraphe à plumes 16 voies ECEM.

b) *Physiques :*

Transmis au sol par voies commutées.

— A bord : enregistreurs photographiques, magnétophone Minifon et, enfin, une caméra de 16 mm, déclenchée en fin de propulsion.

◆ Discussion du vol

Résultats physiologiques de Martine.

A. — *Végétatifs :*

Le rythme respiratoire avant le vol est irrégulier et varie de 80 à 110 par minute. Pendant la propulsion, la fréquence diminue et l'amplitude augmente. En fin de poussée, il y a deux à trois mouvements de grande amplitude puis une de cinq secondes.

Pendant la phase balistique, les variations sont moins étendues, mais on note une baisse progressive de la fréquence respiratoire, qui décroît de 90 jusqu'à 60, au moment de la rentrée dans l'atmosphère.

Rythme cardiaque : Avant le vol, la fréquence est de 240 par minute. Pendant la période balistique, diminution de 240 à 220 avant la rentrée.

B. — *Tracés électrocorticographiques.*

Avant le vol, l'activité de base est constituée d'environ 80 % de rythmes rapides de faible amplitude.

L'hippocampe montre une prédominance de rytmes rapides ; l'activité thêta n'occupe que 20 % mais atteint une amplitude de 150 μ V.

Pendant le vol, le rythme thêta devient prédominant. Pendant la période balistique et la rentrée, les tracés sont à peu près calquables sur ceux précédent le vol.

C. — *Travail conditionné.*

Pendant la phase balistique, Martine a appuyé correctement, dès l'allumage du tableau, dans des temps

variant de 0,9 à 2,4 secondes. Le passage en sous-gravité a allongé le temps de réponse jusqu'à 17,4 secondes.

Cependant, les temps de réponses correspondent à ceux qui ont pu être enregistrés au laboratoire.

D. — *Les films.*

L'animal accuse un choc ressenti au départ, et réagit par un nystagmus rapide mais de courte durée. A part cet incident, elle n'a pas de mimique traduisant la peur ou l'angoisse. Elle appuie sur le bouton central aussitôt après l'allumage, prend sa récompense et se lèche longuement les doigts.

Pendant toute la phase balistique, elle conserve une attitude très éveillée avec des yeux mobiles.

III. — Resultats physiologiques de Pierrette.

A. — *Végétatifs :*

La fréquence respiratoire, avant le départ, est assez irrégulière et varie de 50 à 110, avec une moyenne de 70 par minutes.

Pendant la phase de propulsions, on retrouve un ralentissement accompagné d'une augmentation de l'amplitude.

Pendant la phase balistique, le rythme respiratoire devient très régulier et diminue lentement, de 70 à 60 juste avant la rentrée. Rythme cardiaque : baisse progressive de 240 à 200.

B. — *Tracés électrocorticographiques :*

Avant le vol, son tracé spontané est légèrement différent de celui de Martine ; Pierrette fait volontiers

de courtes périodes d'assoupissement spontané. Dans ces cas, on note dans toutes les voies un enrichissement des fréquences 6 à 7 « cs » qui occupent de 60 à 80 % du tracé et ont une amplitude de 70 μ V.

Pendant la période balistique, la presque totalité du tracé est occupé par cette activité faite de rythmes de 6 à 7 cs qui occupent 90 et 70 % selon les dérivations.

Dans l'hippocampe, l'activité thêta occupe 60 % du tracé avec une amplitude de 150 μ V.

C. — *Travail conditionné :*

Pierrette n'a effectué aucun appui pendant le vol. Trois appuis ont été enregistrés à la fin du programme, mais après la récupération, l'animal a utilisé jusqu'à épuisement le distributeur de récompense.

D. — *Les films :*

Durant le vol, le faciès est presque immobile, les yeux sont mi-clos ou vagues. Malgré l'allumage du tableau, l'animal ne fait aucun geste. Cette indolence dure jusqu'à la rentrée.

IV. — Discussion.

Les renseignements végétatifs montrent que les deux singes ont bien supporté les différentes phases du vol.

En fin de propulsion, pour les deux animaux, le rythme respiratoire devient lent et ample, allant même jusqu'à l'apnée chez Martine. La privation brutale de pesanteur semble, ici, jouer un rôle par mécanisme réflexe inhibiteur.

Durant la phase balistique, les rythmes cardiaque et respiratoire ont lentement diminué chez MARTINE et PIERRETTE.

La phase de rentrée est assez mal supportée : agitation et irrégularité cardiaque et respiratoire.

Chez MARTINE, l'activité corticale, au tracé rapide et de faible amplitude, accuse un niveau de vigilance assez élevé.

Chez PIERRETTE, au contraire, on note une succession de fuseaux à 6,5 cs. La proportion de ces rythmes ateint 73 % du tracé.

Cependant, avec ces fuseaux confluents, l'activité des muscles reste tonique et le rythme respiratoire n'a pas la régularité de celui d'un animal endormi.

PIERRETTE, bien que sélectionnée en deuxième position sur dix autres singes, pour la régularité de son travail et son indifférence aux conditions insolites (bruits, rotations, etc...), n'a fait aucun geste pendant le vol.

Présentant de légères tendances spontanées à la baisse de vigilance, elle a probablement vu s'amplifier ce penchant par le vol en apesanteur (elle a repris son activité lors de la rentrée dans l'atmosphère).

Les temps de non pesanteur en vol balistique sont courts et les expériences peu nombreuses. Mais il a déjà été constaté, en on pesanteur vraie, des baisses de vigilance.

Ces expériences, qui avaient été menées dans le but précis de l'étude de la vigilance, ont donc mis en relief l'importance du facteur apesanteur pour deux êtres placés dans les mêmes conditions, mais dont la légère différence de motivation a été accentuée. Ce qui a fait dire que PIERRETTE avait été une mauvaise cosmonaute.

Chapitre II

LES BIOSATELLITES

Il s'agissait d'engins conçus par les U.S.A. pour étudier tout particulièrement les modifications de la substance vivante et les altérations des fonctions organiques lors des voyages dans l'espace extraterrestre, sous l'effet de certains facteurs de nuisance, tels que :

— vibrations,
— accélérations,
— apesanteur,
— rayonnements.

Ce but a été poursuivi par les Américains, par la mise en route d'un programme de lancement de 6 biosatellites et, nous le verrons plus tard, par les Soviétiques, avec la brillante série des « Spoutnik » et de certains « Cosmos ».

L'EXPERIENCE BIOSATELLITE III ET BONNY...

1.) *Justification de l'expérience :*

Lors des expériences Mercury et Gemini, les cosmonautes ont pu supporter sans mal les vols de 10, 11 et

14 jours. On avait toutefois remarqué des modifications temporaires au niveau de l'appareil circulatoire et dans les caractéristiques chimiques du sang et de l'urine.

Les six biosatellites, selon trois types de vol avec des durées de trois, vingt et trente jours, devaient permettre d'élucider ces mécanismes.

Le 14 décembre 1966, fut lancé un engin qui ne put être ramené à terre ; il contenait les micro-organismes et des insectes.

En septembre 1967, Biosatellite 2, pourvu de matériaux biologiques (œufs de grenouilles embryonnés, bactéries, amibes, grains de blé, plants de poivriers, guêpes) après un vol écourté (44 h 54 contre 70 prévues), fournit des renseignements utiles certes, mais insuffisants selon les spécialistes au regard des dépenses engagées.

Biosatellite 3 comportait l'envoi d'un singe muni de multiples capteurs superficiels et profonds, sur orbite, pendant trente jours.

Sans plus tarder, examinons le cas « Bonny », ce petit singe sur lequel se fondaient tant d'espoirs, et dont la mort fut, un moment, inexpliquée.

2.) *L'animal :*

A cause de sa bonne humeur, ce singe avait reçu le nom de Bonny. C'était un Macaca Nemestrina de 6,3 kg, âgé de 3 ans, né en Thaïlande. Il fut lancé en capsule selon une orbite circulaire de 220 miles par une fusée Delta améliorée, au centre spatial Kennedy (ex-Cap Canaveral), le 29 juin 1969. Sa mission était fixée à un maximum de trente jours.

3.) *Les tâches de* BONNY *:*

Dans la capsule, l'impression de jour et de nuit, chacune de 12 heures, était produite par deux lampes : l'une par une lampe blanche incandescente de 6 à 10 bougies, l'autre par une lampe rouge, trente fois plus faible.

Une caméra de 13.000 images prenait des photos de la tête du singe pendant sa mission. BONNY devait effectuer deux fois par jour deux tests, l'un destiné à vérifier sa mémoire à court terme (20 secondes) utilisant les boutons lumineux portant quatre symboles différents, l'autre contrôlant la coordination sensitivo-motrice, autrement appelé test d'analyse du comportement (behavioral task). Ces tests, efectués deux fois par jour et de 15 minutes chacun, étaient aussi un des modes d'obtention de nourriture et auraient dû avoir l'avantage de l'occuper un peu. Il y avait donc une épreuve en temps limité et une épreuve visuomotrice réquiérant la coordination œil-main, les deux faisant appel à l'ingéniosité, qualité souvent prouvée auparavant chez BONNY : rappelons qu'il avait été choisi parmi une vingtaine de singes préalablement entraînés en vue d'un vol spatial.

L'épreuve en temps limité consistait à étendre, par pression sur un bouton, un symbole approprié. Des séries de quatre symboles lui étaient ainsi présentées. Ce genre d'exercice n'est pas nouveau pour nous ; avec le système de mise en évidence de symboles dépareillés, il fait partie des problèmes utilisés parfois pour tester le niveau intellectuel des enfants à quatre ans et demi (U.S.A. STANFORD-BINET INTELLIGENCE TEST) : c'est l'âge mental de BONNY.

L'épreuve visuomotrice, plus compliquée, consistait à enfoncer un bouton vert d'accès interdit par la rotation à vitesse différente de deux disques transparents, concentriques, le recouvrant, mais par instant autorisé par l'alignement de trous (1 par disque) ménagés dans les disques, et du bouton.

Bouton et trous ne venaient en alignement qu'une fois toutes des 56 révolutions. Des doigts humains ne pourraient s'acquitter d'une telle tâche ; les Nemestrina, généralement, s'accomodent très bien de cette difficulté. Deux tentatives réussies dans les deux cas lui valaient un pellet, récompense savoureuse à base de lait concentré, mais obtenu qu'avec travail et succès...

4.) *L'équipement de maintien :*

— L'atmosphère de sa capsule (698 kilos) composée de 80 % d'azote et de 20 % d'oxygène, provenait de réservoirs. Une pression atmosphérique de 14,7 psi était maintenue pendant le vol avec une température de 75° farenheit.

— L'apport hydrique était assuré par la réaction oxygène - hydrogène. L'eau élaborée était mesurée, la quantité d'eau consommée était continuellement transmis eau sol : ce détail va conditionner le déroulement de l'expérience.

— Les excreta : l'urine (près de 400 cc par jour) était directement canalisée depuis la vessie jusqu'à un réservoir, par un cathéter passant entre les organes génitaux et le rectum. Une partie passait à travers un analyseur. Les fèces (40 g/jour) étaient entraînés dans un réceptacle grâce à un courant d'air (en apesanteur, bien entendu). Les gaz étaient bactériologiquement filtrés et épurés et passaient dans le système atmosphérique.

L'animal reposait sur un genre de hamac, auquel il était fixé par son vêtement de coton-nylon.

Il y avait déjà des innovations : le mélange gazeux respiratoire fut employé pour la première fois, ici, par les Américains, pour une fois préféré à l'hélium, alors que les Russes l'avaient utilisé à maintes reprises.

La cathétérisation de la vessie a demandé beaucoup d'efforts, les Américains ayant enregistré en laboratoires, de graves cas de pyelites, de néphrites, d'inflammations compliquées d'infection.

5.) *L'équipement scientifique :*

Les scientifiques attendaient de nombreux renseignements de ce lancement, car, bien que les cosmonautes aient accumulés de nombreux jours de vol autour de la terre (plus de 5.000 heures pour les Américains), les enregistrements s'étaient limités à ce que pouvaient fournir les capteurs externes. On s'était borné à surveiller, lors d'un vol humain, la respiration, la pression sanguine, le rythme cardiaque et à pratiquer avant et après le vol des analyses d'urine, de sang et des radiographies du tissu osseux.

Mais Bonny portait des capteurs internes. On l'avait muni de 27 capteurs répartis diversement.

Ils revaient fournir trois renseignements majeurs sur :

1°) les éventuelles conséquences des modifications du métabolisme du calcium.

2°) Le comportement et les réflexes en apesanteur.

3) Le rythme cardiaque et l'irrigation sanguine dans les organes vitaux.

Les capteurs portés par le singe devaient permettre des enregistrements continus.

◆ *Etude du fonctionnement cérébral.*

Dix électrodes avaient été implantées de façon permanente dans le crâne du singe, environ six mois avant sa mission, et elles étaient considérées comme parfaitement indolores (le cerveau n'a pas de nerfs sensitifs).

Le tracé qu'elles fournissaient devaient permettre d'analyser les activités électriques de plusieurs régions du cerveau en période d'apesanteur et les cycles veille-sommeil, les périodes de sommeil lent et de sommeil rapide, des manifestations d'effort, de colère et de fatigue.

Elles intéressaient les zones du :

— frontopariétal (pensée, décision, attention localisée) ;

— frontotemporal (incursion récente, grande attention localisée) ;

— occipital (cortex visuel) ;

— hippocampe (alerte, orientation, discrimitation) ;

— amygdale (colère, frayeur, rage, sexualité) ;

— mésencéphale ;

— formation réticulée et centre médian (conscience, sommeil, vigilance).

En apesanteur, en effet, toutes les données constatées en gravité normales sont absentes, y compris les signaux réguliers des mécanismes d'équilibration auriculaire et les signaux des muscles, des tendons et des organes internes. Ce qui peut affecter les états mentaux tels que jugement, mémoire, concentration et coordination.

Le Directeur de recherche était le Docteur ADEY, du BRAIN RESEARCH INSTITUTE, CALIFORNIE. En effet, le travail était réparti entre plusieurs directeurs de recherches affectés strictement à un seul domaine.

◆ ETUDE DU SYSTEME CARDIOVASCULAIRE

(Docteur MEEHAN, Université de Californie du Sud)

A cet effet : deux capteurs pour le système circulatoire, fixés sur la poitrine, fournissant un électrocardiogramme permanent, et quatre cathéters pénétrant dans la cuisse et gagnant l'aorte, l'artère pulmonaire, la veine cave et l'artère tibiale.

C) *Analyses diverses :*

— urine,

— proteïne,

— liquides

— équilibres minéraux.

(Docteur NELLO PACE, *Université de Californie,* docteur JOON RHO).

Ces analyses devaient répondre à une question bien naturelle : Est-ce que les mécanismes de régulation humorale sont sous la dépendance de la pesanteur ?

Il avait déjà été observé de l'amyotrophie et de la décalcification.

Cette expérience déclencha des variations du taux de calcium chez le singe, et de certains corps composés de substances telles que la créatine et la créatinine.

Un analyseur d'urine, finement miniaturisé, opérait trois analyses quatre fois par jour, s'autoépurait chimiquement entre les analyses. Etaient mesurés par fluorescence et lumière colorée, les taux de calcium, de

créatinine excrétées, et ceci sur de minuscules échantillons. Les fécès étaient analysées au sol.

D'autres examens intéressaient les cellules, le volume plasmatique, l'eau totale corporelle, le liquide extracellulaire, intracellulaire, le taux d'hémoglobine, de protéïne plasmatiques et plus de trente analyses biochimiques.

◆ *Ostéographie* (Docteur Mack, Université féminine du Texas).

Il avait été prévu de soumettre le singe à plusieurs radiographies (en 17 localisations du squelette), intéressant plus particulièrement les zones assujetties à l'ostéoporose :

— la colonne vertébrale, la tête, le col du fémur.

De même, on s'était proposé de mesurer la vitesse de recharge en minéraux perdus pendant le vol, les 4e, 7e, 14e 30e et 60e jours suivant son retour.

◆ *Etude du système reproducteur :*

Le Docteur Cockett, du Harbor General Hospital de Californie, se chargeait d'analyser les éventuelles modifications du tissu testiculaire et des spermatozoïdes.

◆ *Quelques innovations :*

a) L'étude de l'erreur permise du système de renseignements.

b) Le laboratoire d'analyse d'urine miniaturisé.

c) Les cathéters permanents et la fistulisation périnéale, enfin mise au point.

d) La nouvelle technique d'analyses des données physiologiques.

6) Le vol de Bonny (cosmonaute malchanceux)

Au moment de l'allumage de la fusée, Bonny dormait.

Tandis que la fusée s'élevait, il se réveilla brusquement et son rythme cardiaque passa à 200 battements minute.

Vingt minutes après, l'orbite était atteinte ; la pression sanguine revint à la normale et Bonny se rendormit. Le départ avait donc été réussi ; les informations s'acheminaient dans de bonnes conditions ; l'état de l'animal était satisfaisant ; cela devait durer huit jours : le 7 juillet on apprenait que Bonny donnait des signes de léthargie et que ses réflexes n'avaient plus leur acuité habituelle.

En effet, comme l'a relaté Charles Wilson : « Dans la nuit, il refusa l'eau de boisson et parut être dans un calme profond ». Mais cet état avait déjà été remarqué maintes fois auparavant. Cependant, lorsque à 3 heures du matin on le sollicita derechef à boire, contrairement à l'ordinaire, il s'abstint.

Ce refus traduisait un état apathique, et les chercheurs redoutèrent des atteintes plus graves en poursuivant l'expérience. Les rythmes cardiaque et respiratoire avaient baissé ; Il ne buvait plus suffisamment et courait le risque d'une déshydratation ; sans que son état soit tout à fait alarmant, les spécialistes de la N.A.S.A. décidèrent de son retour sur terre, qui fut d'ailleurs mouvementé : la capsule qui, normalement, devait être récupérée en vol, tomba dans le Pacifique et fut ballotée pendant près d'une heure par des vagues de 2 mètres avant d'être récupérée par un hélicoptère.

Bonny fut enfin transporté à la base de Hickam (Hawaï), où son état parut satisfaisant : son cœur battait à 68 pulsations par minute.

Il devait mourir le lundi 7 juillet, à minuit. Les causes de sa mort allaient être diversement commentées.

7) Les hypotheses de la mort de Bonny.

On a pensé au refroidissement : la capsule, maintenue à 20-21° paraissait « fraîche » pour un macaque, d'une part habitué aux grandes chaleurs et, par surcroit, immobilisé.

Il faut aussi reconnaître que des voyages d'une telle durée sont assez éprouvants pour les animaux. On s'est souvenu, à ce sujet, des chiens russes du Cosmos II, dont l'amyotrophie était importante : précisons qu'ils avaient voyagé vingt-deux jours.

Mais Bonny était affecté de capteurs profonds. Il était seul dans sa cabine, on a donc souligné le facteur psychologique. Selon Wilson, la négligence de Bonny à effectuer les tâches et sa baisse de métabolisme sont des réactions rares peut-être, mais observées toutefois chez le Nemestrina : c'est pourquoi on ne s'alarma pas lors de la première semaine.

Et Wilson vint préciser un point important, pouvant permettre de fonder une hypothèse de poids sur la mort de Bonny : il était alimenté selon deux modes :

— par des pellets, nécessitant des manœuvres de leviers et concrétisant les récompenses ;

— par une nourriture mise normalement à sa disposition.

Le même auteur pense que Bonny a simplement été victime de sa gourmandise ; il a négligé les pellets et s'est largement rabattu sur le reste.

CONCLUSION

La mission biosatellite 3 a marqué, pour des raisons budgétaires, la fin du projet de six lancements.

Le vol spatial du macaque aura été bref : huit jours contre trente jours prévus. Cependant, il a été obtenu de très précieux renseignements, surtout sur le plan biochimique qui demandent des mois de dépouillement.

Bien qu'il n'ait pas apporté un succès complet et spectaculaire, BONNY aura certainement une gloire posthume.

DEUXIÈME PARTIE

Les Rongeurs

INTRODUCTION

Le faible coût des petits rongeurs de laboratoire a expliqué leur large participation aux expérimentations dans les domaines les plus divers.

Ils ont eu l'honneur, dè ce fait, de toutes les expériences faites sur les mammifères, depuis l'implantation cérébrale d'électrodes à demeure (FRANCE), en passant par la décompression explosive, l'irradiation au sol, dans l'espace, la labyrinthectomie, les vols en fusées, en ballons, bref, ils furent omniprésents.

Bien entendu, ils ont constitué un matériau de choix pour les études portant sur les radiation ionisantes, mais nous éviterons de nous étendre longuement sur ce sujet qui est encore, à l'heure actuelle, un des points chauds de la recherche, et qui est réservé à des personnes hautement compétentes et spécialisées.

De plus, il ne sera rapportée qu'une infime partie des relations des spécialistes, donnant un aperçu très général de la diversité des domaines où ces petits animaux ont été mis à contribution. Comme pour les singes, nous commencerons le voyage en V2, mais nous l'achèverons en Spoutnik.

Chapitre I

LES RONGEURS EN BALLONS

Des expériences en ballon ont été motivées par le souci, d'ailleurs contemporain, de connaître les effets des radiations ionisantes de l'espace.

Les premières tentatives avec de petits rongeurs eurent lieu en U.R.S.S. en 1934, au U.S.A. autour des années 40 : elles ont révélé l'absence de lésions caractéristiques des cristallins des souris blanches exposées pendant vingt-quatre heures au rayonnement cosmique primaire.

En août 1951 : des mouches et des hamsters furent mis dans des nacelles portées par des ballons en aluminium : il s'agissait de vols de huit heures.

A la fin de 1952, cinq vols de ballons furent effectués : l'un fut récupéré après six heures de vol. Des quatre autres, deux n'atteinrent jamais l'altitude convenue, un autre céda par implosion et le dernier fut foudroyé lors d'un orage.

Un autre envoi malchanceux en 1953 : le ballon s'échappe de la base et, après bien des déboires, on put ouvrir la capsule six jours après : il était temps. Les

hamsters qu'il contenait s'entre-dévoraient ; cette nacelle avait joui d'équipements nouveaux : un réservoir de cinq litres d'eau jouait le rôle de volant thermique, un transmetteur émettait sur trois fréquences suivant l'altitude avec référence de 80.000 pieds.

D'autres vols ont eu lieu, mais les résultats furent au total rares et inconstants : quelques lésions cutanées en novembre 1956 sur un cobaye, par exemple. En fait, SCHAEFFER a fait remarquer la nécessité de procéder à des lancements à des latitudes géomagnétiques supérieures à 50°. Jusque-là, les vols avaient eu lieu d'Holloman à 41°.

De son côté, le docteur SIMONS, spécialiste du rayonnement cosmique, a séjourné plus de trente heures dans un ballon strastosphérique à l'altitude de 32 kilomètres : il a constaté l'apparition de poils blancs sur le dos de sa main, phénomène attribué peu après à l'action des noyaux lourds.

Les expériences françaises effectuées par le C.E.R.M.A., portant sur des souris placées en ballon à des altitudes variant de 28.000 à 33.000 mètres, ont permis la constatation, cinq semaines à trois mois plus tard, d'une dépigmentation en stries. Cette dépigmentation peut être interprétée comme le résultat d'une atteinte directe par destruction de quelques mélanocytes du bulbe pileux (Médecin Commandant DELAHAYE).

Au sujet de ces expériences en ballon, les chercheurs ont souligné la faiblesse de sensibilité des tests radiobiologiques classiques pour des doses minimes de radiations (ATLAN, DETOUR, DELAHAYE).

Chase a fait remarquer la nécessité de nombreux ballons volants. Il avait proposé, il y a quelques années, trois modes d'études des effets de radiations :

— par les rayons X passant au travers de petits opercules (1 mm, 100 microns, 50 microns de diamètre).

— par des faisceaux de deutons passant par des opercules de 1 mm et 100 microns, avec des doses allant de 1 000 à 35 000 rep.

— par des vols en ballons à 30 000 mètres et plus.

Il a proposé de se servir de la peau et ses follicules comme dosimètre et a observé la plus grande sensibilité des follicules en croissance aux radiations par rapport à ceux au repos, en expérience au laboratoire.

Les travaux, dans ce domaine, ont été conséquents. Cependant, les expériences de laboratoire ne peuvent restituer les conditions spatiales : il faudrait des accélérateurs plus puissants ; notons cependant que, si les doses reçues sont généralement faibles, dans certaines conditions, de lieu et de moment, elles seraient fatales.

Le colonel John Pichering a suggéré d'effectuer certains lancements de ballons en temps opportun en vue d'observer des effets pathogènes : il a évoqué notamment l'incidence des explosions solaires. En considération de quoi, il conseillait de limiter l'irradiation à 25 rads par mission, avec une latitude de 25 rads pour une éventuelle éruption solaire ou une erreur d'orbite.

En conclusion, si les ballons ont un peu déçu leurs promoteurs, il faut reconnaître que leurs missions

étaient limitées dans le temps et dans l'espace, et que les buts entrepris étaient fort complexes ; des résultats certains ont été obtenus, mais il s'agit d'un facteur encore mal connu.

Chapitre II

LES RONGEURS EN FUSEE

A) Les souris en V2.

Une souris a eu l'honneur d'occuper le dernier V2 expérimental :

Elle était logée dans un compartiment dans le cône de la fusée. On s'était fixé pour but l'observation de l'animal : à cet effet, la capsule fut équipée d'un système de prises de vues fonctionnant pendant une seconde toutes les quatre secondes. Elle disposait pour son appui d'un plancher grillagé.

Le vol s'affectua normalement.

La récupération ne fut pas réussie, mais une cassette en acier, spécialement conçue, livra des documents filmés éloquents : aucun trouble de la coordination des mouvements n'était apparent.

B) La serie Aerobee.

Les expériences qui vont suivre sont d'un intérêt supérieur : Elles vont intéresser des petits lots d'animaux et les modalités d'équipements vont se révéler différentes et même complexes.

Dans le nez de ces fusées vont se loger des tambours animés d'un mouvement de rotation régulier, selon un axe transverse au grand axe de la fusée. Ces animaux étaient, bien entendu, filmés.

Schématisons le procédé :

Deux fusées Aerobee II et III, dont les compartiments seront plus ou moins équipés d'appui de référence :

AEROBEE II (a) 1 compartiment à paroi lisse muni d'une palette + 1 souris normale ;

(b) 1 compartiment à paroi lisse muni d'une palette + une souris opérée.

AEROBEE III (c) 1 compartiment à paroi lisse sans palette (souris normale) ;

(d) 1 compartiment à paroi grillagée avec d'une palette + 1 souris normale ;

La souris « opérée » avait subi la destruction des canaux semi-circulaires du labyrinthe par électrocauthérisation sous anesthésie à l'héter.

Ces vols ont permis les constatations suivantes :
Le souris (d) d'AEROBEE III disposait, comme celle de V2, d'appuis, pouvait se référer à son sens tactile : elles se déplacèrent correctement avec une légère désorientation, mais sans incoordination.

On a comparé leur état à celui d'un pilote fermement sanglé à son siège : elles perdirent simplement le sens de la verticalité et s'adaptèrent à toutes les positions.

La souris normale d'AEROBEE II et l'autre souris normal d'AEROBEE *III*, dans leur tambour à parois lisses, avec ou sans palette, présentèrent de l'affolement avec des signes manifestes de fuite. Et, sur les clichés recueillis, les mouvements sont apparus hors de proportion avec l'effort requis.

Enfin, la souris opérée (qui, au sol, avait présenté les troubles labyrinthiques dont une incapacité à garder l'orientation quand elle était soumise au test de la nage), ne présentait pas de signes de retraite. Elle tournait tranquillement avec le tambour, en apesanteur.

CONCLUSION

La notion d'équilibre est réalisée par l'intégration de donnécs à point de départ musculaire, occulaire et labyrinthique.

L'apesanteur chez les souris normales a provoqué brusquement une labyrinthectomie fonctionnelle ; celles qui ont eu quelques moyens de référence (parois grillagées) se sont déplacées presque normalement. Les plus démunies se sont affolées : elles ont même négligé d'utiliser la petite palette.

Mais la souris opérée s'est trouvée soudain favorisée par rapport à ses congénères : les influx occulaires qui n'ont qu'un rôle palliatif ont assuré la déficience des canaux de l'oreille ; elle avait, en effet, eu le temps de développer une suppléance visuelle.

Ces expériences n'ont pas été concomitantes : nous avons réservé la primeur à l'analyse des films, pour

plus de clarté, et nous précisons maintenant quelques modalités :

Nous avons vu, dans un chapitre précédent, qu'AEROBEE II emportait un singe et 11 souris à 236.000 pieds. En fait, neuf de ces souris y avaient pris place à des fins d'étude de l'influence des rayons cosmiques sur les organismes. Cependant, la fusée fut exposée à des températures élevées avant le retour, et le singe, apparemment sain et sauf, mourut, alors que les souris survécurent. On attribua la mort au choc thermique.

Le matériel d'AEROBEE II fut récupéré et reversé, avec de petites modifications, dans AEROBEE III. Ces expériences, en 1951, soulevèrent un petit émoi, vite dissipé par deux rapports, en 1951, de performance de pilotes en état de pesanteur voisine de zéro : CROSSFIELD n'avait pas trouvé de difficulté notoire à exécuter les gestes nécessaires au contrôle de son avion pour des expositions répétées d'une demi-minute. BALLINGER fit aussi les mêmes constatations rassurantes.

C) LES RATS EN FUSEE.

Le Centre d'Enseignement et de Recherche de Médecine aéronautique a effectué, en février 1961, une expérience physiologique utilisant, pour la première fois en France une fusée VERONIQUE.

Le même Centre a assuré la préparation des animaux, réalisé l'appareillage de contention, la capsule étanche, la préamplification des courants d'action biologiques en vue de leur transmission au sol par télémesure.

Les buts de l'expérience :

On se proposait d'étudier le fonctionnement d'une partie des systèmes physiologiques d'orientation et d'équilibration dans les conditions d'accélérations

complexes et de non-pesanteur rencontrées au cours d'un vol en fusée. La grande valeur de cette expérience, pour l'époque, était la technique d'implantation chronique du système nerveux et la méthode de transmission des données nerveuses par télémesure. Ainsi, les tensions d'entrée des courants provenant de l'animal étaient de 10 microvolts. La tension de sortie nécessaire pour la télémesure était de 1 volt.

Eléments de l'expérience :

On utilisait un rat blanc de race WISTAR. On désirait étudier l'activité électrique de la substance réticulée et d'une zone corticale non différenciée, ainsi que l'activité électrique de certains groupes musculaires, de la nuque plus précisément. Les fréquences cardiaques et respiratoires donnaient lieu à des enregistrements en vue de l'étude des réactions végétatives de l'animal. Les animaux ont été préparés en « chronique ».

En utilisant une technique dérivée de celle décrite par ALBE-FESSARD et adaptée aux conditions du vol, MM. les docteurs CHATELIER et LEITNER, avec la collaboration scientifique du professeur BUSER, préparèrent une quinzaine d'animaux.

Les courants biologiques, transmis après amplification, ont été recueillis au sol et enregistrés pendant le vol. Pendant l'expérience, l'animal fut contenu dans un petit vêtement spécial en coton qui laissait libre les mouvements de la tête, en vue de l'enregistrement de l'activité myoélectrique. Le même vêtement, par l'intermédiaire de sangles et de ressorts le maintenait au centre de son cadre métallique ; la mission étant de courte durée, l'animal n'emportait pas avec lui de source d'oxygène.

Le tir eut lieu le 22 février 1961, à 8 heures ; il prit fin à 8 h 35. L'altitude atteinte fut de 110 km.

Les techniques de préparation :

On se donnait pour but de recueillir les paramètres physiologiques suivants :

1°) Activité électrique du Cortex en dérivation longitudinale entre une aire associative et l'aire visuelle.

2°) Activité électrique de la substance réticulée mésencéphalique dérivée au moyen d'une électrode profonde bipolaire concentrique.

3°) Activité électrique des muscles de la nuque dérivée par électrode bipolaire.

4°) Rythme cardiaque.

5°) Rythme respiratoire.

Pour l'enregistrement des mouvements respiratoires, on eut recours à la dérivation des courants d'action des piliers antérieurs du diaphragme et plus exactement à une double dérivation cardiorespiratoire : une seule voie de télémesure acheminait les valeurs de la fréquence cardiaque et de la fréquence respiratoire.

L'enregistrement des phénomènes physiologiques a nécessité dix contacts électriques disposés sur le crâne du rat correspondant à :

— une électrode indifférente ;

— une électrode « masse de l'animal » ;

— deux électrodes corticales de surface ;

— deux pôles de l'électrode réticulaire profonde ;

— deux pôles de l'électrode implantée dans les muscles de la nuque ;

— deux électrodes implantés dans les piliers antérieurs du diaphragme.

L'ensemble des broches était solidarisé à la surface du crâne par du ciment, enserrant en même temps une armature de fils d'acier fixés en certains points du crâne. A une exception près (électrodes diaphragmatiques), la durée d'utilisation de ces électrodes peut atteindre plusieurs mois. La pose des électrodes se faisait donc en deux temps :

Dans le premier temps, ils subissaient l'implantation cérébrale selon la méthode stéréotaxique, c'est-à-dire par repérage des structures du cerveau, dans les trois plans de l'espace, à partir d'atlas stéréotaxique.

Les électrodes :

Electrodes corticales :

On a utilisé du fil d'argent vernis de 20/100 de mm. de diamètre dont une extrémité est applatie et vient prendre contact avec la dure-mère.

Electrode bipolaire profonde :

Elle est destinée à être logée dans la substance réticulée mésencéphalique.

Elle est formée de deux électrodes proprement dites, concentriques et isolées entre elles au vernis électrique. L'électrode centrale est un fil d'argent vernis de 25/100 de mm.

L'électrode périphérique est un tube de nikel chromé de 50 /100.

L'électrode bipolaire est ensuite meulée à une extrémité pour obtenir un petit cône. Une tige rigide, momentanément solidarisée à l'électrode bipolaire à l'aide d'une goutte de résine, facilite sa progression dans les structures profondes.

Electrode de myographie :

Elle est logée dans les muscles de la nuque. Sa partie active est dans sa masse musculaire.

Elle est reliée aux contacts fixés sur l'os par un conducteur souple : un conducteur multibrins de 55/100 de mm de diamètre extérieur. Avant l'implantation, l'électrode est chlorurée pour éviter sa polarisation.

Implantation sur l'animal :

Les animaux sont triés, sélectionnés. En période d'épidémie, les lots sont soumis à des séances d'aérosols. L'animal choisi est jeune et pèse près de 300 grammes. Quelques jours avant l'intervention, il subit une injection de vitamine K.

L'opération proprement dite est effectuée dans une cage de FARADAY.

Première intervention — Premier temps :

a) *Anesthésie :* L'animal subit une injection intrapéritonéale de Nesdonal en solution à 1 % et réchauffé à 30° à la dose de 0,65 ml pour 100 grammes de poids. Dans la même seringue, on perfuse une solution de sulfate d'atropine à 1 cg par ml, à la dose de 0,3 ml par 100 grammes de poids, pour prévenir une éventuelle syncope vagale. Cette méthode permet une anesthésie de 5 heures. De même que les singes, les rats, pendant l'intervention, sont placés sur un coussin chauffant. Le rythme cardiaque est surveillé pendant l'opération par « phono-électrocardiographie ».

b) *Mise en place des conducteurs de myographie diaphragmatique :* Peau du crâne et surface de la paroi thoracique sont tondues. Une incision est pratiquée au niveau de la nuque et du thorax. Deux conducteurs

souples, terminés par un fil d'argent isolé au verni, sont placés sous la peau au niveau de la cage thoracique : un petit tube en plastique contiendra leurs extrémités pour prévenir les ruptures.

Le tout est logé sous la peau et la plaie est refermée après saupoudrage avec les antibiotiques.

Deuxième temps. — *Plans cutanés et osseux :*

L'animal est fixé dans un appareil de contention stéréotaxique du type HORSLEY-CLARKE. La peau du crâne est incisée longitudinalement, les lambeaux de peau sont réclinés et les os de la voûte sont nuginés.

— On pratique une série d'orifices à l'aide d'une fraise de dentiste. Dans certains trous passeront les électrodes, dans d'autres, les fils d'amarrage : à cet effet, les trous sont forés dans les zones osseuses suivantes :

— sur la crête sus-orbitaire, obliquement de haut en bas et de l'intérieur vers l'extérieur.

— à la racine inférieure de l'apophyse post-tympanique, horizontalement, d'avant en arrière.

Pour les électrodes de dérivation :

- électrode indifférente : deux trous dans les os nasaux;
- électrode corticale : dans la partie antérieure et postérieure du pariétal;
- électrode réticulaire : les trous sont forés à l'aide des repaires de l'Atlas stéréotaxique et de l'appareil de HORSLEY-CLARKE.

(La dure-mère sera percée au dernier moment).

Troisième temps. — *Amarrage et implantation :*

L'amarrage est assuré par des fils d'acier passant dans les structures osseuses vues plus haut et autour de l'arcade zygomatique. Nous passons sur les détails de modalités d'exécution d'amarrage. Signalons tout de même que l'implantation de l'électrode profonde est effectuée par la méthode stéréotaxique dans la substance réticulée mésencéphalique.

La descente est effectuée à la sonde et l'activité des régions traversées est enregistrée. Les caractéristiques d'une réponse à la stimulation d'une patte, recueillie dans la formation réticulée, pendant la descente, permettant de choisir l'emplacement optima de l'électrode. Cet emplacement peut être vérifié par la suite à l'aide de contrôles histologiques et d'agrandissement de microphotographies. L'électrode profonde est alors scellée au crâne au ciment.

Quatrième temps. — *Câblage des contacts et confection du culot :*

Chaque conducteur d'électrode est soudé à une broche femelle miniature. Toutes les broches sont groupées sur le crâne et leur isolement est soigneusement vérifié. Une couche de ciment assure la cohésion et le maintient de l'ensemble. Dans ce bloc est ménagé une gouttière qui recevra les lambeaux cutanés crânéens. Puis, après poudrage antibiotique, la plaie est suturée. L'animal est libéré et reçoit une injection de vitamine « C » et d'antibiotiques.

Utilisation de l'animal :

Dans les bonnes conditions, on peut procéder aux premiers enregistrements au bout de trois jours. La durée d'un tel « animal chronique » est d'environ 4

à 6 mois. Elle est limitée par les facteurs suivants :

— polarisation progressive des électrodes ;

— cisaillement des conducteurs mobiles au niveau des fixations ;

— clivage osseux, au contact du ciment, et les réactions de nécrose qu'il entraîne.

Pour l'enregistrement de l'activité électrique du diaphragme (limité à 6 à 8 jours), une deuxième intervention a lieu en temps opportun, avant la date de l'expérience.

Deuxième intervention :

On procède, ici, à l'implantation dans le pilier antérieur du diaphragme des électrodes laissées sous la peau dans le premier temps.

L'anesthésie, légère, est obtenue avec le Nesdonal en intrapéritonéale, et complétée éventuellement à la compresse à l'éther.

L'incision, sur 2 cm, est faite au niveau de l'appendice xyphoïde. Le premier fil est implanté autour de la palette xyphoïdienne, 4 mm plus avant, en s'entourant de beaucoup de précautions pour ne pas créer un pneumothorax.

ESSAIS PREALABLES

Lors de l'expérience de février 1961, 47 animaux ont été préparés. Certains ont été sacrifiés pour effectuer les contrôles histologiques de position d'électrodes. D'autres furent soumis à divers essais, au cours desquels ils connurent les divers facteurs d'ambiance du vol : vibrations, bruit, etc...

On les a habitués au système de contention, au port du vêtement ; journellement, ils étaient placés en centrifugeuse. Le but visé était d'obtenir le calme, l'indifférence de la part des animaux, et de mettre au point les techniques de recueillement des données : éviter le parasitage ds tracés électrophysiologiques lors de mouvements spontanés.

Pour l'expérience elle-même, trois jours avant la date prévue du tir, on procéda à la fixation des électrodes dans les piliers antérieurs du diaphragme. La veille du tir et le jour du tir, des contrôles électrophysiologiques sont effectués.

ETUDE DES RETULTATS OBTENUS

Véronique V-24 fut lancée le 22 février 1961, à 8 heures, de la base d'Hammaguir. L'altitude atteinte fut de 110 km environ. La tête de la fusée était récupérée après 8 minutes 10" ; l'animal était récupéré vivant à 8 h 40.

Les cinq paramètres physiologiques transmis par télémesure ont été reçus d'une manière satisfaisante au sol.

a) *Nature des agressions subies :*

L'étude des paramètres physiques enregistrés a permis de constater que l'animal n'avait pas subi d'agression thermique importante : la température n'a jamais dépassé 23° C ; la pression ambiante est restée stable pendant tout le vol ; cependant, le niveau sonore ambiant a été mal précisé, de même que la nature et l'intensité des vibrations subies par l'animal.

Les accélérations : en période de propulsion, le rat a subi 9 G en 45 secondes, dans le sens ventre-dos. A la fin de la propulsion, est survenue un décélération brutale de 14 G, terminée par une série d'accélérations très complexe. A ceiles-ci, sont venues s'ajouter diverses autres accélérations parasites. Ainsi, durant tout le vol, le rat a été soumis à des systèmes de
très complexes.

Réactions végétatives de l'animal :

La période de propulsion est marquée par un ralentissement important des rythmes cardiaques et respiratoires. A la soixantième seconde, ces rythmes reprennent sensiblement leur niveau départ. Puis, vers la 180e seconde, on note de nouveau un ralentissement, moins brutal, mais durable.

On peut s'étonner de ce ralentissement alors que les recherches antérieures sur le chien et l'homme soumis à des accélérations montrent toutes, au contraire, une accélération des rythmes cardiaque et respiratoire. En réalité, le ralentissement de son rythme constitue une modalité particulière qu'a le rat de réagir à l'agression quelle que soit sa nature (Angiboust).

A la mise à feu, on voit se déplacer de grandes bouffées inspiratoires. Pendant toute la période de propulsion, ces bouffées deviennent de plus en plus amples et aussi de plus en plus rares. Au cours de la période balistique, ces bouffées redeviennent modérées.

b) *Activité électrique du système nerveux central :*

Au moment du départ, les tracés sont entachés d'artefacts qui disparaissent dans la période balis-balistique, pour réapparaître dans la période de séparation de l'ogive.

L'interprétation des tracés jusqu'à la 300e seconde, période pendant laquelle les tracés sont les plus clairs, fait ressortir les points suivants :

1°) Aussitôt après le départ, une intense activation corticale qui persiste pendant tout le vol avec, à la fois, augmentation de l'amplitude et de la fréquence.

2°) L'activité réticulaire évolue en deux modes : Elle reste stable pendant les 100 premières secondes. A partir de la 150e seconde, le tracé s'applatit et apparaissent des ondes lentes, tandis que les rythmes cardiaques et respiratoires subissent un ralentissement.

L'étude des courants d'action des muscles du cou montre d'intenses contractions pendant la période de propulsion, puis une « hypoactivité musculaire » dûe à la position de l'animal, qui se trouve sur le dos en période balistique.

INTERPRETATION
DES DONNEES PHYSIOLOGIQUES

Il faut retenir d'abord que, sur le plan technique, cette expérience a été une innovation : elle a permis, pour la première fois, d'étudier, par voie télémétrique, le fonctionnement du système nerveux central d'un animal soumis à des accélérationsn complexes de longue durée : on se souvient que la tension d'entrée des courants provenant de l'animal étaient de 10 microvolts; la tension de sortie nécessaire pour la télémesure étant de 1 volt.

Sur le plan physiologique, elle constitue un excellent tremplin pour l'étude de l'activation corticale et du

fonctionnement du système réticulaire au cours de surgravité prolongée. Bien entendu, les chercheurs français font remarquer la nécessité d'expérimentation complémentaire pour vérification. Cependant, en laboratoires, de nombreuses expériences avaient déjà fait apparaître que le rat réagit aux émotions par une bradycardie : on a retrouvé ce phénomène en fusée Véronique. Ceci prouve, une fois de plus, que la notion d'espèce doit être prise en considération, lors de l'étude des facteurs d'agression.

Chapitre III

LES RONGEURS EN SPOUTNIK

Il faut rappeler d'abord que les rongeurs (rats, souris, cobayes) bien que directement intéressés dans les études de l'action des radiations cosmiques, ont été souvent accompagnés de cultures cytologiques, microbiologiques, de lambeaux de peau, etc...

En nous maintenant dans un cadre plus étroit, il est quand même bon de signaler quelques constatations faites par les chercheurs soviétiques et patiemment analysées par R.-P. Delahaye.

Gurdjian, en 1962, fait remarquer d'une part que les instruments dosimétriques installés dans la cabine du second engin spatial ont enregistré une dose (dérisoire) de 10 millirads ; « que l'examen général des chiens, rats et cobayes, pratiqué de suite après le vol, ne révéla aucune altération » ; d'autre part, que des souris noires de la lignée C 57 qui prirent part au vol ne présentèrent pas une dépigmentation évidente et convaincante, tout en accusant certaines aberrations chromosomiques. Mais le même auteur rappelle que des tests de laboratoires ont permis de reproduire les aberrations chromosomiques chez la souris et la Drosophile.

Les auteurs : Arsenieva, Antipov, Petroukhine et Coll. opinent dans le même sens. En effet, tout en reconnaissant l'atteinte des organes hématopoïétiques des souris en navires satellites, ils signalent que des expériences au sol ont permis, dans une certaine mesure, de reproduire les troubles mitotiques.

Il y a donc eu, dans un premier temps, la constatation de troubles, tels que ponts, fragments, atteignant des cellules et la moelle osseuse à l'anaphase ou à la télophase, puis l'essai de reproduction des facteurs d'ambiance et l'analyse de leur action spécifiques : accélérations, vibrations, apesanteur.

Vibrations : on les produit à l'aide d'une table vibrant à une ampliture de 0,4 mm pendant 15 minutes.

Apesanteur : elle est étudiée en vol, pendant près de trois minutes après une accélération de 2,5 G.

A la faveur de ces expériences, ils retrouvent certains des troubles évoqués.

Cependant, malgré les faibles doses totales de radiations absorbées, il faut tenir compte de l'action spécifique éventuelle des particules lourdes (Delahaye). Sisakyan d'ailleurs insiste sur l'action combinée des vibrations, accélérations, apesanteur et radiations.

Il s'agit donc d'un problème très vaste dont nous ne retiendrons qu'une prophylaxie s'exerçant par un choix d'orbite, de durée de vol, de moyens de protection et par la considération de l'activité solaire.

TROISIÈME PARTIE

Les Carnivores

INTRODUCTION

Les carnivores ont apporté une solide collaboration à l'expérimentation spatiale. Les Soviétiques, travaillant sur des chiens depuis la fin de la deuxième guerre mondiale, ont achevé provisoirement cette période féconde en 1966 avec le « Cosmos 110 ».

De très nombreux animaux avaient effectué des vols balistiques jusqu'à la mise au point du système de sauvetage. Puis les « Spoutniks » ont permis de longs séjours en condition d'apesanteur.

Aux U.S.A., quelques expériences en avion, pendant de courtes périodes de trajectoire Képlérienne, se proposaient d'étudier les modifications du réflexe de redressement du chat autour de 1950.

En France, les chercheurs ont centré leur intérêt sur l'étude de la vigilance, lors de vols balistiques : les chats étaient implantés chroniquement et leur préparation a nécessité une haute technique de miniaturisation et de chirurgie.

Ces expériences ne seront pas exposées chronologiquement afin de ne pas interrompre le déroulement d'un programme.

Chapitre I

LES CHATS

A) Les chats en avion.

Von Beck expérimenta sur les réflexes labyrinthiques du chat durant les trajectoires de vol parabolique en T 33.

Il se proposait de voir si le chat se redressait seul une fois retourné sur le dos pendant la période d'apesanteur, yeux bandés ou non.

Dans les conditions ordinaires, l'animal aux yeux bandés, comme le voyant, se redresse. Le réflexe allait-il jouer en apesanteur ? Une analyse des images prises en vol montre que l'animal gardait ses fonctions réflexes pour tout autant que persistait un reliquat de pesanteur. Cependant en apesenteur réelle, le réflexe était amoindri, voire annulé. Alors il chutait et roulait confusément. Quand la résultante des forces appliquées était égale à zéro, les otolithes n'étaient plus stimulées, et le cas des chats était ramené à celui des souris en V2.

Les données visuelles n'affectaient pas ce type de réflexe.

Gerathewolhs et Stallings en 1957, étudièrent le réflexe labyrinthique chez les chats de deux semaines et de huit à dix semaines, les yeux bandés ou non; ils observèrent lors de vol à trajectoire Képlerienne que les plus jeunes chats étaient indifférents à leur position dans l'espace. Par contre les plus âgés subissaient le même phénomène que ceux de Von Bekh : le réflexe postural n'apparaît qu'après l'âge de 3 semaines.

Schock prouve plus tard le rôle palliatif de la vision toujours lors d'expérience en vol balistique utilisant des chats totalement privés d'informations vestibulaires par opération (soit section bilatérale des nerfs vestibulaires, soit ablataion des aires vestibulaires corticales), et adaptés à cette privation. Il appuie la thèse selon laquelle la vision supplée dans les mécanismes d'orientation, après une phase d'adaptation; on retrouvera la même constatation en se référant à la souris labyrinthectomisée d'Aérobée III.

Des recherches plus poussées ont été menées en France sur des chats porteurs d'électrode chroniques. Là encore la télémesure des phénomènes cérébraux a pu être obtenue grâce à une technique délicate et subtile.

B) Les chats en fusee.

Etudes des réactions physiologiques du chat lors d'un vol en fusée

Préliminaires :

En octobre 1963, deux fusées « Véronique » emportaient un chat dans leur ogive. Il s'agissait de chats éveillés porteurs d'électrodes implantés chroniquement.

Les différents paramètres physiologiques, centraux et végétatifs recueillis pendant le vol, sous forme de

variations électriques de l'ordre de 50 uV étaient amplifiés à bord au moyen d'amplificateurs différentiels transistoriés à grand a forte impédance d'entrée et large bande passante, puis transmis par télémétrie au sol où ils furent enregistrés sur piste magnétique.

Entraînement des chats.

On hatitua les animaux à être enfermés dans des cages de restriction motrice, puis à être attachés sur le système de fixation. Si certains furent soumis à des accélérations allant jusqu'à 11 g, ils furent cenpendant écartés du lot des sélectionnés pour le tir.

Après l'intervention chirurgicale d'implantation d'électrodes, ils subirent pendant plusieurs semaines des rotations de un tour en une à trois secondes, et le confinement dans un caisson silencieux et obscur et où de temps en temps, un haut parleur reproduisait à 100 dB, le bruit de départ d'une fusée Véronique.

Le container.

Le chat y était en position de repos, avec une liberté de mouvements réduits au maximum. Après fixation, il était glissé dans un container cylindrique.

Une soupape spéciale, fermée hermétiquement, devait s'ouvrir lors du retour dans les basses couches de l'atmosphère.

Hypercapnée et hypoxie étaient évitées d'une part à l'aide de capsule d'amiante lithinée qui maintenait le taux de Co2 inférieur à 2 %, et d'autre part par un balayage d'oxygène dans l'enceinte du container.

Paramètres physiologiques étudiés :

1) Electrocardiogramme :

L'ECG fut pris en dérivation standard entre les pattes avant gauche et arrière droite avec les électrodes disposés extemporanément sur la peau rasée. On a assimilé le tracé obtenu à une dérivation DIII.

2) Rythme respiratoire :

Il fut enregistré à l'aide d'une sangle de caoutchouc carbone à résistivité variable.

3) Activité électrique centrale :

On trouvera dans la rubrique « rats » quelques notions sur cette intervention. Les électrodes furent implantées dans les zones suivantes.

Cortex associatif gauche
Hippocampe central droit.
Réticulée mésencéphalique.
Cortex somesthésique gauche.

Un segment particulier de l'aire somesthésique fut choisi afin d'obtenir la plus grande réponse évoquée à la stimulation du segment proximal de la patte antérieure controlatérale du chat.

Un des intérêts principaux de cette expérience était en effet, l'étude d'un potentiel évoqué somesthésique pendant l'absence de pesanteur.

Les électrodes furent fixées au dernier moment sur la patte de l'animal ; elles transmettaient la stimulation délivrée par un stimulateur transistorisé embarqué dont on pouvait régler l'intensité du choc seuil.

La stimulation d'un récepteur périphérique de la somesthésie provoque une réponse nerveuse qui se

projette au niveau de l'écorce cérébrale en un zone spécifique, et qui se matérialise par un signal électrique aux caractéristiques bien définies. Après un temps de latence de 3 à 4 mn, apparaît une déflexion positive rapide pouvant atteindre 20 mv et d'une durée de 10 ms; cette déflexion rapide positive est suivie d'une onde négative plus lente pouvant durer 200 ms.

L'étude de la réponse, en potentiel évoqué, présente entre autre l'intérêt de se modifier dans sa forme et son amplitude suivant l'état de vigilance de l'animal.

Les vols :

Ces vols se sont déroulés les 18 et 24 octobre 1963. La fusée « Véronique 47 », tirée le 18 octobre 1963, emportait un animal qui avait été implanté le 14 septembre 1963. Le vol a duré au total 636 secondes, avec une phase de non pesanteur de près de 5 minutes.

Au cours de cette expérience, les facteurs d'ambiance ont évoluée de la façon suivante :

— La température s'est élevée de 4° C passant de 15° C, au moment de la mise à feu, à 19° C, au moment de l'impact au sol.

— Le niveau maximum d'accélération a été de 9,5 g en fin de propulsion.

— L'altitude de culmination de la fusée a été de 160 km.

Les enregistrements au sol des différents paramètres physiologiques, transmis au sol ou recueillis dans la pointe de la fusée, ont été très satisfaisants. Certaines perturbations se sont manifestées au moment de la période de rentrée dans l'atmosphère.

LES RENSEIGNEMENTS RECUEILLIS.

a) *L'électrocardiogramme :*

Avant le départ, le tracé correspondant à la dérivation D III montre un rythme sinusal à la fréquence de 174 pulsations minute.

Au moment de la mise à feu, se produit une accélération qui porte le rythme à 204 pulsations par minute.

Dès la période d'apesanteur : retour à la normale (150-160 pulsations par minute). La fréquence cardiaque va remonter à 180 pulsations par minute lors de la décélération. Toutes les deux pulsations, on observe une anomalie morphologique du complexe rapide qui devient ample et dont l'onde S, englobant ST et l'onde T, forme, à elle seule, la phase terminale du complexe ventriculaire ; de plus, ce complexe anormal n'est pas précédé d'une onde P. Il s'agit donc d'un bigéminisme extrasystoloique ventriculaire.

Après l'ouverture du parachute, on observe la disparition des extrasystoles ventriculaires et le retour à un rythme sinusal normal.

b) *Le rythme respiratoire :*

Il était de 90 mouvements par minute avant la mise à feu. On note une brève apnée au moment du départ, puis une augmentation à 130 mouvements par minute qui va ensuite se stabiliser à 150 mouvements par minute en non pesanteur.

Ce rythme ira en crescendo lors de la phase de décélération jusqu'à 250 mouvements par minute. A l'impact au sol persistera encore un rythme de 220 mouvements par minute.

c) *L'électroencéphalogramme :*

Sur le néocortex, on observe deux rythmes :

— rythmes rapides et peu amples (25 à 30 μV et 25 à 30 cs) = état de vigile.

— rythmes plus lents et amples (100 à 120 μV et 9 à 10 cs) = état de somnolence.

Le cortex associatif est, de façon générale, plus riche en éléments lents que le cortex primaire.

Au moment du départ, on observe une réaction d'éveil généralisée. Une nette tendance à la synchronisation se manifeste, en particulier dans le cortex associatif. L'activité au niveau de l'aire somatique reste rapide et peu ample. Celle de l'hippocampe reste désynchronisée.

Pendant la période de non gravité, la tendance au ralentissement du rythme s'accentue. Le tracé cortical associatif prend une allure très synchronisée, mais on note aussi l'apparition de rythmes lents sur l'aire somatique. Le tracé hippocampique n'a pas changé.

Pendant la période de rentrée, on peut noter une activité d'éveil.

Après ouverture du parachute et impact au sol, on retrouve un tracé normal.

Le chat, avant le départ, au repos et à l'obscurité, présente des alternances d'éveil et de somnolence ; la mise à feu s'accompagne d'un réveil et d'une élévation aiguë du niveau de vigilance.

Peu après le début de la non pesanteur, on observe un retour à une activité de calme et de repos.

L'activité somesthésique primaire par stimulation de la patte n'a pas présenté de modifications particulières, mis à part une diminution de l'amplitude lors de la phase de propulsion.

CONCLUSION

D'après la communication du Médecin Général GRANDPIERRE, le vol a été bien supporté. Au moment de la propulsion, on a observé un niveau de vigilance élevé, une accélération des rythmes cardiaques et respiratoires. Pendant la période de non-pesanteur, le retour au calme et, détail très important, une baisse de la vigilance avec tendance à la somnolence.

Lors de la rentrée dans l'atmosphère, se manifestent des troubles végétatifs importants : bigéminisme extrasystolique et polypnée.

Le Médecin Général GRANDPIERRE a évoqué le facteur émotif, une intervention réflexe dont relèvent les troubles cardiaques et le facteur mécanique, à savoir la position de l'animal lors de la rentrée « vers le bas » lors de la descente.

De plus, un point troublant dont nous nous souviendrons : la tendance à la somnolence en apesanteur.

Chapitre II

LES CHIENS

PREPARATION

L'Examen medical.

Il était effectué sous contrôle vétérinaire, en vue de la sélection et se poursuivait tout au long de l'entraînement et après le vol.

Il comportait notamment :

— Examen hématologique ;
— Radiologie de la cage thoracique ;
— Electrocardiogramme ;
— Prise de la tension ; du pouls ;
— Analyse d'urine ;
— Température corporelle et poids.

La radiographie de la cage thoracique était faite la veille du vol et au retour.

D'autres examens étaient beaucoup plus fréquents tels que l'électrocardiogramme effectué deux ou ou trois fois par semaine. La tension, le pouls et la respiration étaient enrgistrés au cours du dressage et pendant

l'entraînement en centrifugeuse. La formule leucocytaire était établie la veille du vol et immédiatement après celui-ci.

Pendant l'entraînement, les animaux étaient pesés deux fois par jour, à jeûn.

ENTRAINEMENT ET PREPARATION.

Leur mise au point a été progessive et forcément très étalée dans le temps. Ce que nous allons lire a davantage trait à LAIKA, qu'à ses prédécesseurs.

Il a fallu, dans un premier temps, habituer les animaux à des conditions de vie en cabine. A cet effet, on les faisait séjourner dans des cages spéciales dont les dimensions étaient progressivement réduites, pour arriver aux alentours de 60 cm x 25 cm x 50 cm.

On avait volontairement limité la taille des animaux à 6, 7, parfois 10 kg. La durée du séjour, limitée au début à quelques heures, devait atteindre une vingtaine de jours au cours desquels ils devaient simultanément d'adapter au port du vêtement, au dispositif d'épuration des excréta, et à leur enregistreurs de fonctions biologiques. A ce sujet, la mise au point du dispositif d'assainissement souleva des difficultés du fait de la contention : elle avait pour effet de provoquer la rétention et l'agitation motrice. Aucun palliatif pharmaceutique n'a pu donner de résultat constant. Les principes de conditionnement de PAVLOV furent le plus sûr moyen. L'entraînement prenait fin à ce niveau, lorsque l'animal s'était parfaitement habitué à toutes ces conditions en ayant un état général satisfaisant.

Alors commençait l'étape suivante avec l'acte chirurgical : pour l'enregistrement de la pression artérielle,

le tronc commun de la carotide droite était amené en position sous-cutanée au niveau du cou (méthode de Tregoulov).

Pour l'enregistrement des électrocardiogrammes, des électrodes en argent étaient introduites sous la peau de la cage thoracique, au niveau du cinquième espace intercostal.

En dernier, les animaux subissaient l'action de quelques facteurs d'ambiance tels que le bruit, les accélérations, les vibrations, selon des séances fréquentes.

On pouvait remarquer, au début, que sous l'action du bruit, le rythme cardiaque des animaux augmentait de 1,5 fois, le rythme respiratoire de 2 fois et la valeur de la tension artérielle maximale augmentait de 15 à 20 mm de mercure.

On considérait l'entraînement terminé lorsque les variations des indices physiologiques étaient devenus faibles et donc que le niveau général des indices fonctionnels différait peu de ce qu'il était avant l'entraînement.

Alimentation.

Pour la détermination de la ration on avait pris base des besoins énergétiques : 400 à 650 calories par vingt-quatre heures.

Une des formules proposées contenait du sucre en poudre (40 %), de la farine de viande (40 %) et de la graisse de bœuf (20 %). Cent grammes de ce mélange alimentaire concentré couvraient les besoins de chiens d'un poids maximum de 7 kg.

On avait fixé les besoins hydriques à 120 ml.

Puis est apparu l'intérêt d'administrer sous une seule forme aliments et eau ; de cette idée est née l'élaboration d'un produit alimentaire de consistance gélatineuse, comprenant entre autre de l'agar-agar, et qui, d'un coup, a simplifié notablement les problèmes d'approvisionnement.

Après avoir rapidement entrevu cette longe période de « mise en condition, nous pouvons relater l'aventure de quelques chiens « représentatifs ».

LES VOLS

1. — LES VOLS EN FUSEES

A) Vols en cabine hermetique a une altitude avoisinant 110 km.

Plusieurs animaux attinrent des altitudes allant jusqu'à 110 km, logés dans des caissons étanches, munis d'appareils de notation de paramètres physiologiques, tels que la fréquence des mouvements de l'animal, la température cutanée. Ces animaux voyagaient souvent par couple.

La récupération de la tête de la fusée contenant les caissons était assurée par des parachutes qui permettaient une descente et un atterrissage sans dommages.

Les buts étaient déjà précisés : étude de l'activité vitale des animaux au cours du vol et sa protection, étude des possibilités de récupération, contrôle de l'efficacité du fonctionnement des générateurs d'air, vérifications des appareils enregistreurs et acquisition de données concernant le comportement des animaux en apesanteur.

A la faveur des succès, on put conclure à la survie possible des animaux en pleine conservation de leur activité vitale, lors de vols à des altitudes atteignant 110 km et à des vitesses dépassant 4 000 km à l'heure.

Ce premier point étant acquis, on pouvait alors compliquer les modalités du déroulement.

B) Vols en cabine hermetique a des altitudes de 210 kilometres.

Ces vols étaient effectués par des chiens voyageant par couple.

Une heure avant la mise à feu, l'un des animaux était anesthésié à l'hexénal (solution à 10 % à un décigramme par kilo), qui devait assurer un sommeil profond pour une durée de 2 ou 3 heures.

a) *Equipement de la cabine :*

Dans la cabine, on avait aménagé deux plateaux amovibles supportant les chiens, un appareil pour la régénération de l'air et des instruments enregistreurs. Son volume était d'environ 500 litres. Trois bouteilles de 7 litres de gaz sous pression assuraient l'apport d'oxygène. On avait limité la concentration en CO2 à un maximum de 0,2 % pour ne pas avoir à tenir compte de ce paramètre ; la consommation en oxygène avait été estimée à 0,2 litres minute.

b) *Appareils enregistreurs :*

Les variations du périmètre thoracique, sous l'effet des mouvements respiratoires, étaient transformées en variations de résistance par l'intermédiaire de tubes en caoutchouc remplis de charbon pulvérisé. Ces variations étaient notées à bord et télémétrées.

La tension artérielle était enregistrée après opération préalable de TREGOULOV, par l'intermédiaire d'une capsule de MAREY. Un appareil commandait la compression de l'artère carotide. Des mesures thermoanémométriques matérialisaient ses vibrations. Enfin, des électrocardiogrammes étaient effectués.

c) *Modalités de parachutage :*

Lors de certains lancements à 212 km de culmination, il fut procédé à des essais de parachutage double.

L'ogive se détachait du corps de la fusée au point culminant ; à l'altitude de 4 km s'ouvrait un premier parachute ou « parachute-frein de l'ogive ».

A 2 km d'altitude, entrait en action un deuxième parachute. Les variations d'accélération avaient été les suivantes: pendant la propulsion, l'accélération croissait progressivement jusqu'à 6 g ; lui succédaient 6 minutes d'apesanteur. Lors du retour, le premier parachute imprimait 8 g de décélération à l'ogive et le parachute principal 4 g, suivis de multiples décélérations brèves lors de l'atterrissage.

Ont participé à ce genre d'expérience plusieurs couples de chiens dont certains plusieurs fois.

d) *Constatations d'ordre physiologiyque :*

Plusieurs remarques avaient été faites : en apesanteur, la tête des animaux s'était brusquement soulevée,

accusant la prédominance des extenseurs du cou, soudain allégée. Après examen des renseignement fournis, il était apparu que pendant la partie active du vol chez tous les animaux le pouls s'était accéléré, la fréquence respiratoire s'était élevée. Les mêmes phénomènes étaient observés lors du freinage, mais nécessitaient un temps moins long pour revenir à la normale. Par contre, respiration et pouls étaient moins altérés chez les animaux anesthésiés.

Les périodes les plus intéressantes furent celles de la propulsion et du freinage. Elles furent très bien supportées par les animaux et cette étape permit d'envisager le sauvetage d'animaux à une altitude de 200 km au moyen d'une cabine hermétique amovible. En effet, jusqu'alors on avait apporté toute confiance aux cabines pressurisées, à juste titre d'ailleurs, puisque les animaux revenaient intègres de leur mission. On avait, à priori, aucune raison de changer de technique.

Ecoutant la voix de la sagesse, on voulut admettre l'éventualité d'une perte de pressurisation. Dans cet ordre d'idée, on effectua les vols qui vont suivre.

C) Vols en cabine non hermetique.

En plus des recherches classiques de physiologie spatiale, on abordait de nouveaux problèmes d'équipement et on tentait la récupération de l'animal après catapultage hors de la cabine.

a) *Equipement.*

On se proposait de munir l'animal d'un scaphandre avec un masque solidarisé. En effet, un masque courant aurait pu être arraché ou déplacé et aurait gêné la prise de vue ; c'est pourquoi les chercheurs mirent au point un scaphandre formé de trois couches de caoutchouc solidaire d'un casque en plexiglass en forme de

bulle. La partie inférieure du casque portait une soupape s'ouvrant à l'altitude de 4.000 m, permettant le passage de l'air ambiant ; gonflage et ventilation du scaphandre étaient assurés par des bouteilles d'oxygène de durée limitée à trois heures.

On utilisait deux animaux par expérience. Ils étaient placés chacun sur un chariot éjectable et logés dans des compartiments respectifs à hublots détachables.

Tous les appareils destinés aux enregistements physiologiques en vol étaient installés dans la partie postéro-supérieure du chariot. Sous le même chariot, était placé un dispositif pyrotechnique d'éjection.

b) *Modalités de vol et résultats.*

Deux heures avant le vol, les animaux faisaient l'objet de mesures physiologiques avant la fermeture du casque. Puis leur chariot était engagé dans les cabines non hermétiques et la fusée pouvait prendre le départ.

Allaient se dérouler alors ces stades successifs : Après une période de propulsion, la fusée atteignait sa culmination, généralement 110 km, puis l'ogive se séparait et commençait la chute libre. De cette ogive allait être éjecté un premier animal selon deux options : en début de chute libre, tandis que l'ogive était stabilisée ou pendant la chute libre non stabilisée, qui rendait l'éjection plus délicate mais plus élégante à cause des mouvements divers de turbulence ou de rotation.

Un premier chariot était donc éjecté à une altitude comprise entre 75 et 90 km. Son parachute ne s'ouvrait que 3 secondes après, imposant une décélération de 7 g. L'ogive continuait sa chute libre pendant laquelle le deuxième animal était filmé ; son chariot était éjecté

à une quarantaine de kilomètres d'altitude, effectuant sa propre chute libre jusqu'à une altitude de 4 km à laquelle s'ouvrait le parachute.

Pour les deux animaux, cependant, la vitesse d'atterrissage était de près de 6 mètres seconde. Pendant leur vol, ils avaient subi en ascension les bruits du moteur et les accélérations; en culmination et en chute libre, ils avaient éprouvé 3,5 minutes d'apesanteur et de pesanteur réduite et, enfin, des décélérations lors de l'ouverture des parachutes.

Lors de ces vols, l'intérêt s'était surtout porté sur l'action de l'apesanteur. Tout de même, on avait remarqué certains phénomènes en période de propulsion, à savoir des accroissements ou même des réductions de la fréquence cardiaque et une absence de régularité dans les altérations du pouls. En période de non pesanteur, la fréquence du pouls avait tendance à diminuer, de même que la fréquence des mouvements respiratoires. Les films témoignèrent du calme des sujets pendant le vol, rompu parfois lors de vibrations importantes, en propulsion.

Les examens entrepris furent longtemps poursuivis après leur arrivée : l'état, le poids, le pelage et le comportement des animaux furent tout à fait normaux. Les variations de constantes sanguines constatées pendant six mois d'observation restaient dans les limites habituelles.

CONCLUSION

Ces séries d'expériences avaient permis la mise au point de techniques balistiques, médicales et physiologiques. Elles apportaient de plus l'assurance de l'inocuité d'un bref séjour en haute altitude et avaient rendu possible l'éventualité d'un sauvetage par éjection.

La technique de récupération était d'autant plus élégante que les animaux étaient récupérés au sol, après un atterrissage à six mètres seconde.

Cependant, les durées de mission étaient trop courtes : la satellisation allait permettre une plus grande latitude d'observation.

---

2. — LES VOLS EN SPOUTNIK

◆ Spoutnik II : Laika.

1.) *Préliminaires.*

Les Soviétiques suscitèrent la surprise et l'admiration en envoyant, pour la première fois, un animal dans un satellite « Spoutnik II », le 3 novembre 1957.

Une petite chienne de 7 kg, nommée Laika, avait pris place dans un satellite de poids probablement compris entre 3.200 et 3.500 kg chargé de 508 kg d'instruments divers (Charles-Noël Martin), aisément repérable optiquement par son éclat qui dépassait Spoutnik I de plusieurs grandeurs stellaires.

Après un bond de plus de 200 km et une mise en orbite réussie, il transmit, pendant 7 jours, de précieux renseignements codés et se désintégra plusieurs mois après sa mission.

2. — *L'équipement de maintien.*

L'appareillage d'ambiance était très complet ; précisons seulement qu'un dispositif ingénieux maintenait la température de la cabine constante. Un écran spécial absorbait la chaleur animale et un thermorelais commandait la ventilation. L'alimentation était assurée

pendant le vol à l'aide de la ration gélatineuse mise au point par les chercheurs. Le traitement des excreta s'effectuait par un collecteur appliqué au bassin et maintenu par des sangles à un harnais thoracique, qui les dirigeait vers un réservoir hermétique aseptisé rempli de charbon activé et de mousse végétale desséchée.

3.) *Equipement médical.*

L'animal était vêtu d'un vêtement léger et modérément contenu par des chaînettes : en effet, en plus de petits mouvements dans l'axe longitudinal, il pouvait se lever, se coucher ou s'asseoir.

Le programme prévoyait l'enregistrement des indices caractérisant l'état des fonctions respiratoires et circulatoires et l'activité motrice évaluée par la méthode actographique. Les contractions cardiaques étaient relevées par électrocardiographie ; les influx étaient captés par des électrodes en argent logées sous la peau. Les mouvements respiratoires s'exprimaient en variations de résistance, de ceintures spéciales, formant des enregistreurs-transmetteurs. La méthode de TREGOULOV permetait la prise de la tension artérielle en transformant les vibrations de l'artère carotide en oscillations électriques.

4.) *Le vol de Laïka.*

L'animal a successivement été soumis à l'accélération de la période active, à l'apesanteur, à une accélération transverse lors de la mise en orbite, puis à une longue période d'apesanteur. La propulsion a provoqué une accélération du rythme cardiaque. En apesanteur, les phénomènes physiologiques (circulation, respiration) revinrent aux normes habituelles. L'E.C.G. ressemblait

de plus en plus à celui qui caractérisait l'animal, (Kouznetsov). Toutefois, pendant les quatre à six premières heures de vol, les fluctuations du rythme cardiaque devinrent très grandes (fluctuations = différences entre les valeurs maximales et minimales du rythme cardiaque dans un intervalle de dix secondes d'onde R à onde R). Cette instabilité relative du rythme cardiaque persista, bien qu'à un degré moindre, jusqu'à la fin de la période de non pesanteur (Garenko-Yazdovsky).

Du point de vue de l'activité motrice, au début de l'apesanteur l'animal effectua quelques petits bonds sur le plancher, les membres raidis.

5.) *La mort de* Laika.

La réserve d'oxygène avait été prévue pour sept jours. Ce laps de temps écoulé, avec l'épuisement de la source d'énergie électrique, la régénération de l'air ne se fit plus : Laika périt donc d'hypoxie.

Néanmoins, Spoutnik II se maintint encore longtemps sur son orbite ; il avait totalisé plus de 2 300 révolutions avant de chuter dans un splendide embrasement le 14 avril 1958, quelque part dans l'Atlantique.

CONCLUSION

Laika ouvrit de nouvelles perspectives en effectuant dans l'excellentes conditions un séjour d'une semaine en orbite. Ses données, transmises au sol, furent très encourageantes pour les vols futurs. La ténébreuse

question de l'action des rayons cosmiques n'avait toutefois pas été abordée : on a pensé à l'époque que quelques constatations auraient pu être faites si son retour avait été prévu.

Il restait encore matière à expérience...

◆ *Spoutnik III :* Strelka et Bielka.

Ce Spoutnik emportait de très nombreux sujets biologiques sur une orbite de 305-308 km, le 19 août 1960. En effet, en plus de deux chiennes, Strelka et Bielka, se trouvaient 40 souris, 2 rats, des insectes, des plantes, des cultures, etc...

D'un poids total de 4.600 kg, il effectua, en 24 heures, 17 révolutions circum-terrestres et parcourut 7.000.000 de km. Le 20 août, du sol, fut envoyé l'ordre de descente ; sur le trajet de retour se fit une première séparation : le compartiment contenant les instruments fut éjecté et se consuma dans l'atmosphère. La cabine du vaisseau fut libérée, traversa les couches denses de l'atmosphère grâce à son revêtement protecteur et, à 6.500 m du sol, sous l'effet de relais barométriques, un container renfermant une partie des animaux s'éjecta et entreprit une descente douce en parachute. La cabine étanche parachutée classiquement contenait des souris et les 2 rats ; le container éjectable contenait d'autres souris, les insectes, les cultures et les 2 chiens.

Durant le vol, des caméras filmaient Bielka et Srelka ; les informations scientifiques étaient gardées sur mémoire et étaient transmises à terre sur commande à chaque révolution, lors du survol des récepteurs terrestres.

Il n'y eut pas de défaillances techniques à déplorer, pas plus d'ailleurs que de données inquiétantes. Les animaux furent longtemps examinés par la suite et les résultats vinrent corroborer les idées générales que l'on avait avancées à la suite des vols précédents.

◆ *Spoutnik IV* : PCHELKA ET MOUCHKA.

Le 1er décembre 1960, les Soviétiques lancèrent le vaisseau cosmique n° 3 (Spoutnik IV). Deux chiennes : PCHELKA et MOUCHKA, des souris, des insectes et des plantes étaient à bord. Pendant le vol, se déroulait une série d'expériences physiques, et furent transmis de nombreux renseignements de divers ordres. Le retour fut moins réussi : le 2 décembre, alors que l'ordre de retour avait été donné, le vaisseau se plaça sur une trajectoire non prévue et se désintégra.

◆ *Les Spoutnik V et VI :* CHERNUSKA et ZVESDOCHKA

Ces vaisseaux leur firent effectuer un vol très bref en mars 1961 : une seule révolution. Au retour de ZVESDOCHKA, KOROLEV put envisager le lancement de Vostok I dont le passager allait être Youri GAGARINE.

CONCLUSION
SUR LES VOLS EN SPOUTNIK

D'après les informations recueillies sur les Spoutnik, il est ressorti que les animaux ont, dans l'ensemble très bien supporté les vols en apesanteur. Après la phase active, ou phase de propulsion de la fusée, les modifications physiologiques avaient une nette tendance à retrouver leurs niveaux initiaux en période d'apesanteur, mais en un temps plus long qu'au sol, après les mêmes conditions d'accélération. On a pu observer un

allongement de la durée du premier bruit cardiaque, un allongement de la systole. Malgré leur disparition relativement rapide, quelques heures après, par intermittence, apparaissaient de nouvelles modifications. L'onde T électrocardiographique, par exemple, après huit à dix heures de vol, s'était trouvée modifiée. L'index systolique avait parfois diminué de 23 à 26 %.

On a supposé dans cette instabilité relative du rythme cardiaque, l'intervention d'un balancement périodique entre les influences ortho et parasympathiques (Gazenko-Yazdovsky). Comme ces chercheurs le signalent, si les influx otolithiques sont exclus, en état d'apesanteur, de nombreux autres sont diminués ; le tout concourt à une baisse du taux normal des influx nerveux entraînant l'effondrement de l'analyse spatiale. Il peut s'ensuivre une irritation prolongée, une réactivité extrême, des troubles de la coordination et l'évolution d'un syndrome de mal de mer. Titov avait d'ailleurs accusé des sensations désagréables de caractère vestibulaire.

On pourrait être surpris d'avoir constaté des résultats apparamment opposés chez les singes. Peut être que le caractère émotif, inhérent à l'espèce, sinon à l'individu, vient compliquer le phénomène de la balance sympathique. Du point de vue de la réactivité individuelle, Mme Terechkova a plutôt été sujette à l'endormissement.

De toute façon, le nombre d'animaux et d'individus est trop faible pour tirer des lois générales ; on s'est surtout proposé la constatation de dérèglement permanent. Dans cet ordre d'idée, les animaux, plusieurs mois après le vol, n'ont pas présenté de variations physiologiques de nature à fonder des soupçons. On a cité le cas de Strelka qui, en pleine santé, a mis bas deux fois des chiots intègres. Sur le plan biochimique, l'examen du sang et de l'urine de Bielka et Strelka, après

24 heures de vol, révéla une réaction modérée, exprimée par une brève augmentation des globulines et des mucoïdes sériques (2 à 6 jours après le vol) : puis les indices revinrent à un taux normal.

Le vol lui-même avait été bien supporté. D'après des mouvements, en période d'apesanteur, on avait pu mettre en évidence une tendance à l'automatisation visant à une économie d'énergie.

Il faut cependant rattacher à ces études faites sur les chiens les enseignements recueillis à partir d'examens de rongeurs qui les ont accompagnés, et dont les éléments les plus troublants ont été des modifications hématologiques.

3. — VOL EN COSMOS : Veterok et Ougoliok

Preliminaires :

Les Cosmos ont été la concrétisation du programme soviétique de satellites de télécommunications. Certains d'entre eux ont pourtant assuré des fonctions variées autant qu'inattendues, dont le Cosmos 110, lancé le 22 février 1966. Ce satellite emportait 2 chiens sur un orbite allant de 186 à 905 km « de haut » (périgée, apogée) et allait effectuer 330 révolutions.

a) *Equipement des animaux :*

Ils étaient munis d'appareils habituels en vue d'examens médicaux ; en plus des électrodes étaient branchées sur le système nerveux. Les artères étaient cathétérisées afin de perfuser du sérum ; on a pensé, à ce sujet, qu'il pouvait s'agir de « sérum antiradiations ».

b) *Les conditions de vol :*

Le vol s'est déroulé du 23 février au 16 mars 1966, soit 22 jours. Les animaux étaient nourris à l'aide d'une

gelée pénétrant dans l'estomac à la faveur d'une fistulisation, ce qui permettait de régler avec précision la quantité absorbée. Ces chiens (VETEROK et OUGOLIOK) ont volontairement été mis sur une orbite à haute altitude, pénétrant dans les ceintures de radiation de VAN ALLEN. Dans un but d'évaluation de ces rayonnements, de très nombreux dosimètres avaient été placés dans le vaisseau.

c) *Les enseignements tirés du vol :*

Les relations, pour un si long voyage, ont été, à notre connaissance, très intéressantes, mais très concises.

Lors de cette longue épreuve en apesanteur, l'organisme des animaux a réagi :

— la balance hydrosaline a été fortement perturbée : des sels de calcium ont été éliminés rapidement et en quantité importante. Alors que le tissu osseux était soumis à des modifications dans sa densité, une autorégulation est apparue tendant à adapter l'organisme aux nouvelles conditions (NEFEDOV - EGOROV). Après le vol, en plus de la fuite calcique, on put observer une amyotrophie très importante entraînant une abasie provisoire. La possibilité de mouvements et leur coordination ne sont apparues que progressivement, sur une période de huit à dix jours.

— du point de vue circulatoire, leur pouls, plus rapide, n'est redevenu normal qu'après les quatre à cinq jours suivant l'atterrissage. Ainsi, si les animaux s'étaient accoutumés à l'absence de pesanteur, le retour à la vie normale a nécessité une réadaptation. C'est à ce phénomène que l'on a cru pouvoir attribuer l'augmentation du nombre de leucocytes survenue trois à cinq jours après le vol.

Au sujet de l'influence des radiations : les chercheurs n'ont signalé aucune modification spécifique.

CONCLUSION

Bien que les animaux aient très bien récupéré après trois semaines de vie en non pesanteur, il est évident que l'amyotrophie et les pertes en calcium ont soulevé un problème.

Les chercheurs ont suggéré de créer une pesanteur artificielle dans les vaisseaux, par exemple à l'aide de cabines spatiales excentrées et rotatives pour provoquer l'apparition d'une force centrifuge, lors de missions à long terme.

QUATRIEME PARTIE

CONCLUSION GENERALE

On peut considérer l'astronautique comme la suite, le prolongement de l'aéronautique. Les fusées vont plus haut, plus loin que les avions, mais à partir du moment où l'on a commencé à voler et que les techniques s'améliorent, on ne peut plus définir de frontières aux performances de l'homme.

Pourtant, la préparation des vols dans l'espace s'est effectuée avec une méthode très progressive.

Les premiers pionniers du plus lourd que l'air s'aventurèrent sur leur machine à quelques mètres au-dessus du sol. Les progrès furent plutôt rapides. D'un bond de 3 mètres on passait à un autre de 20 mètres, puis 100 mètres... mais toujours l'homme se trouvait aux commandes. Il était d'ailleurs impensable qu'il en fut autrement. Ce n'est que lorsque les avions eurent des performances suffisantes que l'on constata les premiers troubles physiologiques. La médecine aéronautique devait se créer pour étudier ces problèmes. L'homme devait s'adapter à ces nouveaux facteurs d'ambiance et il fallut définir l'action sur l'organisme de la dépression barométrique, des accélérations, vibrations, froid, etc... C'est à ce moment que l'on fit appel aux animaux.

Au laboratoire, on sut reproduire ces conditions à l'aide de caissons de dépression, centrifugeuses, et les facteurs d'agression furent étudiés chez les rats, les chiens, etc... Aucun de ces animaux ne laissera de nom dans l'histoire de l'aéronautique. Mais grâce à eux on put déterminer les mécanismes d'action de ces nouveaux facteurs, évaluer les limites de tolérance et mettre au point des systèmes de protection. Ainsi, les avions volaient déjà depuis longtemps quand l'expérimentation animale, appliquée aux problèmes de physiologie aéronautique, s'est développée.

Ce n'est que progressivement que masques à oxygène, vêtements de vol, combinaisons pressurisées se sont adaptées aux performances toujours croissantes des appareils.

On doit noter que les expériences animales de médecine aéronautique ont toujours eu lieu en laboratoire.

Pour l'astronautique, les choses ont eu lieu très différemment. Une fusée ou un satellite peut avoir sa trajectoire entièrement programmée ou télécommandée du sol. Le passager est donc passif. En outre, de nouveaux facteurs d'ambiance inconnus en aéronautique vont être rencontrés. Le plus important est l'absence de poids apparent dès l'arrêt des propulseurs. Cet état, appelé « non pesanteur » ne peut être étudié au sol, car aucun appareil ne peut le reproduire. L'astronaute devra donc supporter correctement un ensemble de facteurs liés au vol de la fusée : accélération importante au départ passant de 1 à 8-12 g pendant 2 à 5 minutes. Puis non pesanteur pendant tout le vol. On pouvait craindre à ce moment l'apparition de désorientation et de vertiges graves, un mauvais fonctionnement cardiaque dont la régulation par les baro-récepteurs serait perturbée, des troubles digestifs, etc... A la rentrée dans

l'atmosphère, une forte décélération pouvant s'accompagner de rotations complexes posait de nouveaux problèmes.

Enfin, l'astronaute dans sa capsule pouvait respirer normalement et se trouver dans une ambiance thermique et hydrométrique tolérables. D'où des problèmes d'alimentation en oxygène, d'absorption de CO2, d'humidité et de régulation thermique.

Ces problèmes prévisibles n'étaient pas progressifs, ils allaient se poser globalement et devaient être tous résolus lorsque le premier astronaute serait envoyé dans l'espace.

Donc, une expérimentation animale était nécessaire. On pouvait bien étudier en laboratoire tous les facteurs de l'espace pouvant y être reproduits. Mais l'absence de pesanteur, le problème le plus mystérieux, ne peut être reproduit que lors d'un vol parabolique.

Les expériences animales dans l'espaces furent donc très progressives. Tout d'abord, on voulut savoir si un mammifère pouvait résister et survivre à un vol en fusée. Le premier tir semble avoir été fait avec un singe rhésus par les Américains.

Les Américains, après avoir reconnus que la survie était possible, étudièrent avec patience et méthode les phénomènes cardiovasculaires rencontrés pendant le vol. Le schéma expérimental est toujours le même. L'animal ou les animaux sont placés dans un container, attachés à un cadre et anesthésiés. Différents capteurs permettent d'enregistrer le rythme cardiaque, pressions artérielle et rythme respiratoire. Ces paramètres sont amplifiés à bord et transmis au sol par télémesure pendant toute la durée du vol.

Parallèlement se développaient des expériences sur la désorientation provoquée par l'absence de pesanteur. Des chats furent observés en avion T 33 lors de vols paraboliques, tandis que des souris intectes et délabyrinthées étaient filmées pendant un vol en fusée. Le dernier animal choisi avant des vols humains fut, bien entendu, le chimpanzé. Ainsi s'achevait, aux Etats-Unis, avec les vols de Ham et Ennos, la préparation aux vols humains. Toutes les conditions de vol avaient été étudiées en vrai grandeur. Les accélérations du départ ont été jugées supportables. Les effets de l'absence de pesanteur n'avaient pas de conséquences graves sur l'organisme, tout au moins en ce qui concerne les fonctions cardiovasculaires et digestives. Les chimpanzés avaient effectué correctement leur travail psychomoteur. Donc, ce qu'avait fait un chimpanzé, un homme pouvait le faire.

Dans les mêmes temps, les Russes procédaient à des expériences du même genre sur l'animal non anesthésié. Mais, dans ce pays, la formation biologique, héritière de l'école pavlovienne, préférait travailler sur le chien. Les Russes ont obtenu par sélection une race de chiens destinée aux expériences biologiques. Tous leurs travaux sont effectués sur le même type d'animal dont ils connaissent parfaitement les réactions. Il ne faut donc pas être étonné si aucun primate n'a été lancé en Russie avant l'homme.

La tolérance aux accélérations, les effets des vibrations, les rayons cosmiques, la survie de longue durée en espace clos ont été étudiés et extrapolés à l'homme à partir de chiens de laboratoire. En plus des phénomènes cardiovasculaires, les Russes ont expérimenté avec soin les différents systèmes de récupération.

Au début, ils ont retenu deux solutions :

— L'animal porte un scaphandre dans une cabine non hermétique. La récupération s'effectue alors

par éjection de l'animal et ouverture du parachute ; la capsule est récupérée séparément.

— Dans l'autre cas, l'animal se trouve dans une cabine hermétique et ne porte pas de scaphandre. L'ensemble cabine et animal doit être récupéré en bloc.

Finalement, pour les vols humains, les Russes ont choisi une solution intermédiaire, l'homme étant libre dans une cabine hermétique, la récupération s'effectuant toutefois séparément : le cosmonaute s'éjecte et descend en parachute et la capsule est récupérée à part.

Russes et Américains ont donc longuement expérimenté sur les animaux et analysé leur réaction en fusée. Ces résultats ont permis de mettre au point tous les dispositifs de survie et de définir la sélection et l'entraînement des cosmonautes russes et astronautes américains qui ont pu ainsi effectuer des missions de plus en plus longues, complexes et spectaculaires.

Pourtant, les envois d'animaux dans l'espace n'ont pas été arrêtés. En effet, les plus gros problèmes étaient résolus et l'homme pouvait prendre place dans une cabine spatiale, mais bien des inconnus subsistent. Notamment l'absence de pesanteur, cet état inconnu sur la terre, continue à provoquer des inquiétudes. Plusieurs anomalies de comportement, du rythme de veille-sommeil, observées chez les astronautes, ne peuvent s'expliquer que par la privation de l'état normal de pesanteur.

Dès 1960, en France, des chercheurs ont pensé que la privation de cet état pouvait modifier le niveau de vigilance. Trois rats, deux chats et deux singes servirent à analyser les effets de la non pesanteur sur l'activité spontanée du cerveau et le travail psychomoteur.

Les résultats obtenus avec les singes Martine et Pierrette semblent bien confirmer que la non pesanteur provoqu un état d'inhibition tandis que la vigilance reste normale lorsqu'une fraction même faible de pesanteur subsiste.

Les Américains ont également pressenti ce problème qui fit l'objet de l'expérience biosatellite III, avec le singe Bonny. Ce fut malheureusement un demi-échec.

Ainsi, les vols humains dans l'espace vont contiuer, mais il est probable que des animaux continueront à être utilisés dans ces conditions, car bien des problèmes restent encore à résoudre. D'autres surgiront encore au fur et à mesure que les performances des engins augmenteront. La conquête de l'espace peut inonder l'homme d'un immense orgueil, mais il doit rendre hommage, s'il est juste, à une foule de petits mammifères : rats, chiens, chats, primates, sans lesquels l'homme n'aurait sans doute jamais pu explorer un autre monde.

Vu : Le Président de la Thèse,

BESSOU.

Vu : Le Directeur de l'Ecole Vétérinaire Rapporteur,

R. FLORIO.

Vu : Le Doyen,

LAZORTHES.

Vu et Permis d'Imprimer

Toulouse, le 13 Mai 1970.

LE RECTEUR,

Président du Conseil de l'Université,

C. CHALIN.

BIBLIOGRAPHIE

Academie des Sciences de l'U.R.S.S. 1958. — Résultats préliminaires des recherches effectuées à l'aide des premiers satellites artificiels de la Terre et des fusées soviétiques.

Adey (W.-R.). — Central Nervous, Cardiovascular, and visuomotor studies relating to Spatial Orientation in a 30 days Primate flight. NASA : Ames research center Moffett Dield, California Juanary 25. 27, 1966.

Arsenieva Antipov et Co. : Altérations cytologiques et histologiques survenant dans les organes hématopoïetiques de la souris sous l'influence du vol cosmique en navire-satellite. « *Les problèmes de la Biologie Cosmique* », U.R.S.S., 1962.

Arsenieva Antipov. — Les problèmes de la biologie cosmique.

Air Force Missile Developpement Center (A.F.M.D.C.) 1946-1958. — Holloman Air Force Base New Mexico.

A.F.M.D.C. 1958-1960. — The Aeromedical Field Laboratory.

Blin. — « Les chiens dans l'espace : actualités et culture vétérinaire » (mars-avril 1958, page 7-11).

Chatelier. — « La non pesanteur ». Ses effets physiopathologiques. *Revue des Corps de Santé des Armées*, tome X, numéro 6, décembre 1969.

Chatelier, Belugou, Fondanesche. — Rapport biologique de la campagne Vesta. C.E.R.M.A.

Chatelier. — Résultats des expériences effectuées sur des Primates placés en état de non-pesanteur. *Revue de Médecine Aéronautique*, tome VII, 1968.

Chatelier, Ginet. — Etude des réactions physiologiques du chat lors d'un vol en fusée. *Revue française d'Astronautique,* 1964, 3.

Chatelier, Gibert. — La non pesanteur et les expériences biologiques spatiales françaises : C.E.R.M.A.

Chase (Hermann). — Evidence for indirect effects of radiations of heavy ions and electrons on hair depigmentation. *Annals of the New York Academie of Sciences* (11. 1963).

Colin (Jean), Houdas (Yvon) P.U.F.. — Physiologie du cosmonaute.

Delahaye (R.-P.). — Rayonnements extra-terrestres et explorations spatiales. *Revue du Corps de Santé des Armées,* n° 4, août 1967.

Ducroco. — *Sciences et Avenir,* n° spécial : Dix ans dans l'espace.

Delahaye. — Les expériences biologiques réalisées en satellites. *Revue de Médecine Aéronautique,* n° 18, 1966.

Eugene. — Bioastronautics review 1963.

Fargeas : Cours de Physiologie. E.N. Vétérinaire de Toulouse.

Florio. — Cours de Médecine. E.N. Vétérinaire de Toulouse.

Federation Internationale d'Astronautique. — Comité de bioastronautique. Compte rendu des travaux en cours. Mai 1962.

Gazenko, Guiurjian. — Recherches médico-biologiques faites sur les navires de type « Voskod ». *Vestnik Akademic Naouk* S.S.S.R., août 1965.

Gazenko, Giurdjian. — On the biological role of gravity. Cospar symposium, Florence (Italy), May 1964.

Gallouin, Belugou, Fondanesche. — Utilisation des Primates dans les recherches spatiales. *Revue de Médecine Aéronautique,* tome VII, 1968.

Gazenko, Yazdovsky : Les facteurs du vol spatial.

Gerathwohl Stallings : The labyrinthine Posture Reflex (Rhighting Reflex) in the cat during weightlessness. *Journal of Aviation Medicine,* August., 1957.

GRANDPIERRE et CHATELIER : Réactions Psychomotrices chez des Primates placés en vol balistique en fusées. *Life Sciences and Space Research. North.*, Holland, Amsterdam, 1968.

GRANDPIERRE, VIOLETTE, LOUBIERE, CHALETIER : Physiologie du vol spatial.

GRANDPIERRE : Les expériences de biologie spatiale, mars, 1967. *Revue de médecine aéronautique*, tome VII, 1968.

GRANDPIERRE, NEVERRE : Les réactions cardiovasculaires au cours des vols cosmonautique. (*Chaire de Physiologie de la Faculté de Médecine de Bordeaux*). *C.N.E.S. : La recherche spatiale.* vol. VII, n° 1, janvier 1968.

GRAYBIEL, HOLMES, DIETRICH et Co : An account of experiments in which two monkeys were recovered unharmed after sallistic space flight. *Journal of Aviation Médicine*, décember, 1959.

GURJIAN, U.R.S.S. : Biological effects of cosmoradiation on space in ships-satellites. *Revue de Médecine Aéronautique*, n° 3, mars 1962.

HENRY, BALLINGER, MAHER, SIMONS : Animal Studies of the subgravity stade during rocket Flight. *Journal of Aviation Médecine*, 1952, october.

JOUKOV, VEREJNIKOV, VOLKOV : XV^e Congrès Astronautique International. *Varsovie*, septembre, 1964.

KENNETH (F.), GANTZ : Man in space, London, *Hollis and Carter*, Ltd.

Dr. ANDREI (G.), KOUSNETZOV : Some résults of biological experiments in Rockets an Sputnik II. *Journal of Aviation Medicine*, november 1968.

KRAFOCHVIL : Experience with the chimpanzee as an experimental space flight animal. NASA : *Ames Research Center Ursffett Field California*, January, 25 — 27, 1966.

LABOUCHE : *Cours de physiologie.*

LEONOV : Première sortie d'un homme dans l'espace cosmique. *Athenes XVII^e Congrès* 13 - 18, septembre 1965.

LESCURE : *Cours de Médecine.*

MARTIN (Charles-Noël) : *Les satellites artificiels P.U.F.*

MORTON-STOLLER : Some results of the N.A.S.A. Spaceflight *Jan.* 1963, ol. 5.

PARIN (U.R.S.S.) : Enseignements tirés des vols orbitaux soviétiques. *Revue Médicale Aéronautique,* n° 3 mars, 1962.

PARKER (P. J.) : « Bonny », l'expérience biosatellite 3.

PIERRE (†) : *Cours de physiologie.*

PICKERING : Biologic effects of nuclear radiation in Primates. *School of Aviation Meaicine Rapport* 60-66, août 1969.

PETTER (Francis) : *Les mammifères P.U.F.*

ROHLES (Frederic) : Measurement of higher Intellectual Functioning in the chimpanzee. Its relevance to the study of behavior in space. Environnements (From A.F.M.D.C.), *Journal of Aviation Medecine, Febr*uary, 1961.

ROLHES, MARVIN, GRUNZKE, HERBERT, REYNDDS : Chimpanzee performance during the ballistic and orbital project Mercury flights. *Journal of Camparative and physiological Psychology.,* 1963, Vol. 56, n° 1 - 2, 10.

SHELTON (William) : L'exploration soviétique de l'espace. *Préface de Titov,* Buchet-Chastel, 1969.

SIMONS, STEINMETS : The 1954, Aéromedical Field Laboratory Ballon Flights Physiological and Radiobiological Aspects. *Journal of Aviation Medecine,* april 1956.

SIMONS, DRUEY PARKS : Improved Techniques for Exposing animals to Primary Cosmic Ray Particles. *Journal of Aviation Médicine,* August, 1956.

SISAKYAN, GAZENKO : Satellite biological Experiments. *Académy of sciences of the U.R.S.S.,* Italy, May, 1964.

SPILHAUS : Russian Dogs Probe Uppe AIR. *Missiles and Rockets,* March, 1957.

TAYLOR : The veterinarian Part in air Force Space Research. Military Médecine, June, 1959.

URBAIN (Achile), RODE (Paul) : Les singes Anthropoïdes, P.U.F.

Wilson : Spaceflight, vol. 11, n° 11, nov. 1969. *The Biosatellite 3 experiment.*

Violette : La biologie spatiale « L'effort spatial français ».

Yazdovsky et Gozoulov : Some medical and biological problems of manned space flight.

Anonyme : Ambassade France en U.R.S.S. : Note sur le comportement et l'état actuel de deux chiens Veterok et Ougoliok passagers pendant 22 jours du Kosmos 110.

Anonyme : « Bonny, cosmonaute malchanceux ». *Expérience Biosatellite,* 3 août 1969. *Pigtail Monkeys in Space. Aérospace Medicine, october,* 1969, (Anonyme).

TABLE DES MATIERES

Pages

INTRODUCTION 17

PREMIERE PARTIE : LES SINGES.

— *Chapitre I* : Singes en vols balistiques . . 33

— *Chapitre II* : Les biosatellites 67

DEUXIEME PARTIE : LES RONGEURS.

— *Chapitre I* : Rongeurs en ballon 83

— *Chapitre II* : Rongeurs en fusée 87

— *Chapitre III* : Rongeurs en Spoutnik 103

TROISIEME PARTIE : LES CARNIVORES.

— *Chapitre I* : Les chats 109

— *Chapitre II* : Les chiens 117

Vols en fusée 120

Vols en Spoutniks 126

Vols en « Cosmos 110 » 132

QUATRIEME PARTIE :

CONCLUSION GENERALE 137

BIBLIOGRAPHIE 143

R I
IMPRIMERIE
4, place de la Daurade
31 - TOULOUSE
1970